

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA FUNCION LAGRIMAL ENTRE PERSONAS SANAS Y
CON SINDROME DE OJO SECO UTILIZANDO TERMOGRAFIA INFRARROJA-ESTUDIO
PILOTO

DAYAN STEBAN GIRALDO SANTAMARIA

IVAN DANIEL SALAZAR ALARCON

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Físico

Director

Luis Enrique Llamosa Rincón

MSc. En Física

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

GRUPO DE ELECTROFISIOLOGIA

FACULTAD DE INGENIERIAS – DEPARTAMENTO DE FISICA

PEREIRA

2018

DEDICATORIA DAYAN

Agradezco a Dios darme la vida y la oportunidad de estudiar, de llenarme de entusiasmo y ganas de salir adelante, por darme una familia que se preocupa por mi bienestar y que brinda su apoyo.

Agradezco a mi madre Marta Elena Santamaria Alarcón, quien tiene un amor incondicional y siempre me ha respaldado y aconsejado en la toma de decisiones para bien propio. Ha realizado un esfuerzo inmenso para ser de mi un profesional, un gesto que siempre llevare en mi corazón.

Mami eres siempre mi inspiración para cumplir nuevas metas.

Agradezco a la vida por haberme dado la oportunidad de conocer a Lina Paola Espinosa Fajardo quien me ha brindado una grata compañía y aliento en aquellos momentos difíciles, su lealtad ha sido un gesto muy precioso de su parte y sin duda el amor que me ha entregado es el mayor tesoro que conservo.

Agradezco a mi Padre Diego Piedrahita Salazar quien me enseñó e inculco los valores necesarios para ser de mí una persona responsable, honesto y honrado, siempre recuerda llevarme en su corazón y orgulloso de mis logros.

Agradezco a mi hermano menor Diego Alejandro Piedrahita Santamaria porque me enseñó a ser un líder y dar un ejemplo positivo para que siga un camino positivo que lo lleve a alcanzar sus metas.

Agradezco a mi compañero de universidad Iván Daniel Salazar quien me acompañó en un vínculo académico honesto y transparente, sin duda su ayuda fue fundamental para adquirir nuevos conocimientos.

Agradezco al profesor Luis Enrique Llamosa por dedicación de su tiempo para asesorar y alcanzar los objetivos en el presente trabajo.

Agradezco a todos mis profesores por darme una parte de su conocimiento, a compañeros y amigos que hicieron parte de este proceso en la toma de datos y a quienes hayan influenciado para alcanzar las metas propuestas.

DEDICATORIA IVAN

Gracias a Dios por haber logrado este momento tan importante en mi vida, llevándolo presente en cada uno de mis logros.

Le agradezco a mis padres, Adela Alarcón Tabares e Iván Darío Salazar Guerrero, quienes son mi inspiración y motivación para cada día levantarme y afrontar la vida de la mejor manera, enseñándome valores y principios de los cuales me siento orgulloso, además de haberme dado el privilegio de acceder a una excelente educación.

A mis hermanas y hermano siendo una parte muy importante en mi vida. Faizury quién me ayudo a afrontar la universidad fuera de casa de mis padres de una mejor manera, brindándome su compañía y compartiendo experiencias muy agradables, Luisa Lorena por su constante atención y regalarme sus impulsos de entusiasmo y Samuel David quién llegó en este último año para regalarme una motivación más en la familia.

Mis profesores.

Muy agradecido con ellos, mostrando siempre su disposición de enseñar no solo la parte académica sino de la vida misma, dándome el camino para llevar mi formación profesional de la mejor manera. Un especial agradecimiento por su paciencia, dedicación y tiempo al profesor Luis Llamosa confiado en nosotros junto a su grupo de Electrofisiología de la Universidad Tecnológica de Pereira para lograr la realización de este trabajo de grado.

Y de forma final, pero no menos importante a mi compañero de trabajo de grado y amigo Dayan Giraldo, con quien trabaje prácticamente en toda la ingeniería, estando en constante contacto y apoyándonos uno al otro siendo una persona a la cual destaco en mi vida Universitaria.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de grado fue posible gracias a:

Al profesor del departamento de física (UTP) Luis Enrique Llamosa Rincón, por dedicar un momento de su tiempo para asesorar, animar, corregir, contribuir en base a su conocimiento para construir el presente trabajo de grado.

Al grupo de electrofisiología de la UTP que dio la oportunidad de pertenecer a él y quien asigno un espacio y un horario para trabajar en el proyecto.

A estudiantes, profesores y participantes voluntarios para la toma de muestras que aportaron al trabajo.

ÍNDICE GENERAL

1	Introducción.....	10
2	Antecedentes Bibliográficos.....	11
2.1	Estudios Relacionados Al Presente Estudio.....	11
3	Marco Teórico	13
3.1	El Ojo Humano.....	13
3.1.1	Túnica Externa.	13
3.1.2	Túnica Media.	13
3.1.3	Túnica Interna.	14
3.2	Fisiopatología De La Película Lagrimal.....	14
3.2.1	Capas De La Película Lagrimal.....	16
3.2.2	Dinámica De La Formación De La Película Lagrimal.....	18
3.2.3	Drenaje Lagrimal Normal.....	18
3.2.4	Composición De Las Lágrimas.....	19
3.3	Propiedades Físicas De Las Lágrimas.....	19
3.3.1	El PH De La Lágrima.....	19
3.3.2	Presión Osmótica.	19
3.3.3	Otras Propiedades De La Lágrima.....	19
3.4	Termografía Infrarroja.....	20
3.4.1	Principios Físicos De La Termografía Infrarroja	20
3.5	Análisis Estadísticos De Los Datos Experimentales	22
3.5.1	Normalización de datos	22
3.5.2	Prueba U De Mann-Whitney	22
4	Diseño Del Protocolo Experimental	24
4.1	Objetivo	24
4.2	Definiciones	24
4.3	Instructivo De Trabajo Para La Cámara Termográfica Fluke Ti-32.....	24
4.3.1	Operaciones De Uso General	25
4.3.2	Configuración De La Cámara Termográfica Fluke Ti-32	26
4.3.3	Instalación De La Lente Opcional Gran Angular	27
4.4	Procedimiento	28
4.4.1	Equipos Utilizados	29
4.4.2	Entorno De Medición	30
4.4.3	Muestra	31

4.4.4	Protocolo De Medición	31
4.4.5	Consentimiento Informado	32
4.4.6	Procedimiento Para La Estimación De La Incertidumbre	32
4.4.7	Cálculo De Incertidumbre Para La Cámara Termográfica Ti32	35
4.5	Protocolo De Medición Y Análisis De Resultados Individuales	37
4.5.1	Análisis De Imágenes Térmicas	37
4.5.2	Protocolo De Análisis De Resultados General	37
5	Discusión Y Análisis De Resultados	38
5.1	Análisis De Las Imágenes Térmicas Obtenidas.....	38
5.2	Resultados De La Prueba De Fijación Con Parpadeo Y Fijación Sin Parpadeo	38
5.3	Reporte De Medidas De Temperatura	42
5.4	Reporte Individual De Medidas De Temperatura.....	42
5.5	Reporte General De Medidas.....	52
6	Conclusiones	54
7	Bibliografía	55

RELACIÓN ANEXOS (Ver en CD)

Anexo A: Consentimiento informado para participar en el estudio de investigación.

Anexo B: Encuesta para determinar el índice de síndrome de ojo seco.

Anexo C: Diagrama de flujo de protocolo experimental.

Anexo D: Diagrama de flujo para cálculo de incertidumbre.

Anexo E: Control condiciones ambientales.

Anexo F: Aprobación comité de bioética

Anexo G: Código para implementación del análisis en Matlab

Anexo H: Análisis estadístico de datos

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Fisiología Del Ojo Humano.....	15
Figura 2: Capas De La Película Lagrimal Y Mecanismo De Ruptura De La Película Lagrimal...	16
Figura 3: Espectro Electromagnético.	21
Figura 4: Funciones Y Controles Del Procesador Térmico De Imágenes.	25
Figura 5: Acoplamiento Y Extracción Del Lente Opcional En La Cámara Termográfica Ti-32 ..	28
Figura 6: Cámara Termográfica Ti-32	29
Figura 7: Termohigrómetro Digital	30
Figura 8: Procedimiento Del Protocolo Experimental	32
Figura 9: Puntos De Análisis En La Superficie Ocular.....	37
Figura 10: Áreas Delimitadas De Ambos Ojo: Córnea, Conjuntiva Nasal Y Temporal.....	38
Figura 11: Regresión Lineal De La Caracterización De La Temperatura.....	41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Funciones Y Controles Del Procesador Térmico De Imágenes.....	25
Tabla 2: Factor De Cobertura K Para Un Nivel De Confianza Del 95%	35
Tabla 3: Valores De Temperatura Promedio Para Los Termogramas Para Ambos Ojos: Fijación Sin Parpadeo.....	39
Tabla 4: Valores De Temperatura Promedio Para Los Termogramas Para Ambos Ojos: Fijación Con Parpadeo	40
Tabla 5: Pendientes De Cada Muestra En Las Zonas Estudiadas	52
Tabla 6: Analisis estadistico Comparación entre persona sanas y con SOS	54

Índice De Ecuaciones

Ecuación 1: Radiación De Cuerpo Negro	21
Ecuación 2: Ley De Stefan Boltzman	21
Ecuación 3: Ley Del Desplazamiento De Wien.....	21
Ecuación 4: Calculo Del Estadístico U_1	23
Ecuación 5: Calculo Del Estadístico U_2	23
Ecuación 6: Distribución Del Estadístico U	23
Ecuación 7: Media De U	23
Ecuación 8: Desviación Estándar De U	24
Ecuación 9: Valor Promedio	33
Ecuación 10: Desviación Estandar	33
Ecuación 11: Incertidumbre Tipo A.....	33
Ecuación 12: Incertidumbre Tipo B_1	33
Ecuación 13: Incertidumbre tipo B_2	34
Ecuación 14: Incertidumbre Combinada.....	34
Ecuación 15: Teorema Del Limite Central.....	34
Ecuación 16: Incertidumbre Expandida	34
Ecuación 17: Estimación Grados Efectivos De Libertad	35
Ecuación 18: Numero Grados De Libertad	35

1 Introducción

El ojo humano es el órgano de los sentidos más importantes en la vida del ser humano, debido a que el 80 % de la información de nuestro entorno se recibe por esta vía. Este órgano ha sido el foco de numerosos estudios de tipo térmico que se han realizado basados en la poca irrigación sanguínea del mismo, lo cual permite demostrar que el cambio de temperatura en la superficie ocular puede ser un importante indicador para el diagnóstico de diferentes patologías, entre ellas el síndrome del ojo seco (SOS). En este proyecto de investigación se realizó un estudio piloto experimental por medio del cual se diseñó e implementó un protocolo que permita comparar térmicamente el comportamiento de la función lagrimal entre personas sanas y con síndrome del ojo seco con una muestra total de 40 personas, 15 enfermas con edad ($43,2 \pm 14,92$) en años y 25 sanas con edad ($21,95 \pm 2,86$) en años, de tal forma que el protocolo diseñado e implementado sirva de base para generar un protocolo de diagnóstico de tipo cuantitativo, basado en la técnica de la termografía infrarroja. Cada sujeto antes de iniciar las pruebas debe contestar una encuesta donde preliminarmente se hará una clasificación por grupo: personas sanas y enfermas, luego cada persona debe aclimatar la superficie ocular mínimo 10 minutos a las condiciones ambientales controladas en el laboratorio de electrofisiología, luego se le indica los pasos a realizar para desarrollar un correcto protocolo: parpadeo normal por 30 segundos, cerrar los párpados por 10 segundos, tener una mirada fija sin parpadeo por 30 segundos, parpadeo normal por 60 segundos. En cada intervalo se tomarán fotografías de infrarrojo cada 4 segundos para tener un total de 23 tomas, con una distancia de 7,5 cm entre el lente de la cámara y el ojo de la persona, en el estudio se tiene en cuenta tanto el ojo izquierdo como el derecho.

El problema radica en que, en la actualidad, el estudio del ojo seco ocupa un lugar importante en las investigaciones oftalmológicas, ya que estas se dedican al estudio de los mecanismos de producción de la enfermedad y al desarrollo de nuevos medicamentos, pero se ha dejado atrás el estudio de mejores alternativas de diagnóstico. La termografía biomédica no es invasiva, es no ionizante, libre de riesgo, amigable con el paciente y el costo es considerablemente bajo. En Colombia el diagnóstico del síndrome del ojo seco se realiza por medio de pruebas cualitativas como la prueba Schirmer, mientras que por medio de la termografía infrarroja el diagnóstico del SOS sería una prueba cuantitativa y por lo tanto más confiable. Se padece del síndrome del ojo seco cuando una persona carece de la cantidad suficiente de lágrimas, o sus lágrimas no tienen la composición química necesaria para lubricar el ojo correctamente, el síndrome afecta a millones de personas, y si bien la mayoría padece síntomas leves que por lo general desaparecen en poco tiempo, el trastorno puede generar problemas permanentes de la visión. El Grupo de electrofisiología de la UTP cuenta con la infraestructura necesaria para realizar este tipo de estudios experimentales gracias a su experiencia en termografía biomédica, cuenta para ello entre otros equipos, con la cámara termográfica Fluke Ti-32, que gracias a su sensibilidad térmica permite obtener imágenes con gran nitidez y resolución, además de identificar incluso hasta las más pequeñas diferencias de temperatura, ya que posee un lente “gran angular” apropiada para tomar imágenes térmicas de la superficie ocular.

2 Antecedentes Bibliográficos

2.1 Estudios Relacionados Al Presente Estudio.

- **En “Screening for Dry Eye With Newly Developed Ocular Surface Thermographer”** La temperatura de la superficie ocular se midió por medio de un Termógrafo en una sala clínica estándar con unas condiciones ambientales acordes como temperatura, humedad e intensidad luminosa. La cabeza del sujeto se apoyó en un mentón oftálmico estándar y el sujeto fue instruido para mirar al frente hacia el lente del termógrafo. el sujeto parpadeó normalmente, luego cerró ambos ojos durante 5 segundos, y luego mantuvo los ojos abiertos durante más de 10 segundos. Se midió la temperatura de la superficie ocular inmediatamente después de que se abrió el ojo, y luego cada segundo durante los 10 segundos de ojo continuo apertura. Los resultados mostraron que el cambio en la temperatura en la superficie ocular para personas sanas fue mínimo, mientras que para personas enfermas el cambio de temperatura fue significativo. [32]
- **En “Thermal fluctuation based study of aqueous deficient dry eyes by non-invasive thermal imaging”** Se usó una cámara térmica infrarroja para controlar la temperatura superficial ocular para pacientes con síndrome de ojo seco y el grupo de control (personas sanas). Se registraron los sujetos adaptados a la temperatura ambiente prevaleciente durante al menos 10 minutos antes de tomar la temperatura de la superficie ocular del ojo derecho e izquierdo. La temperatura ambiente y la humedad fueron monitoreadas y controladas. Se restringió a los sujetos de SOS la aplicación tópica de cualquier colirio (gotas), cualquier ingesta de alimentos o bebidas dentro de las 2 horas anteriores al experimento y cualquier actividad física extenuante que pudiera afectar la temperatura de la superficie ocular. Durante la medición, se pidió a los participantes que mantuvieran los ojos abiertos durante 15 segundos sin parpadear y en esta condición se obtuvieron secuencias térmicas de la superficie ocular. La lectura fue adquirida después de 2 segundos de abrir los ojos. [20]
- **En “Infrared Thermography Of The Tear Film In Dry Eye”** Para iniciar el procedimiento, la frente y la barbilla de los participantes se ubican contra un soporte de medición, de manera que el centro geométrico de la córnea este alineado con la cámara termográfica a una distancia de 10 cm, Los sujetos sanos como los sujetos con ojo seco permanecerán con la posición primaria de mirada durante 5 minutos, la cual consiste en una posición de mirada al frente, con el parpadeo normal; esta visión inicial se utiliza para que los ojos de los participantes se adapten a la temperatura, humedad e intensidad de la luz de la habitación en la posición en que se realizan las pruebas. Luego tendrán una etapa de descanso con los ojos en reposo; es decir, cerrados durante 10 segundos. Posteriormente los sujetos mantendrán los ojos en posición de fijación sin parpadeo durante 20 segundos; en este tiempo se hacen mediciones de la temperatura de la superficie ocular mediante la toma de imágenes termográficas, aproximadamente cada 5 segundos. Finalmente, los ojos estarán en posición de fijación con parpadeo normal en la cual se tomarán imágenes termográficas durante otros 60 segundos, en intervalos de 5 segundos. [21]

- **En “Ocular Surface Cooling In Dry Eye – A Pilot Study”** La termografía infrarroja fue empleada para medir el cambio en la temperatura de la superficie ocular en el ojo abierto en un grupo de 11 pacientes con ojo seco y siete sujetos de control. Cualitativamente el código de colores de los termogramas del grupo con ojo seco se observó más desorganizados e irregulares. Cuantitativamente el decremento de la temperatura fue mucho más rápido en el grupo con ojo seco (0.88 ± 0.23 °C en 7 segundos) comparado con el grupo de control (0.21 ± 0.27 °C) ($P < 0.0001$). Esta rápida velocidad de enfriamiento puede ser explicada en términos de una mayor velocidad de evaporización y de un incremento en la temperatura de la superficie ocular sobre el ojo abierto en ojo seco. Si esta observación se confirma en un gran grupo de estudio, potencialmente ofrece un nuevo, objetivo, sistema no invasivo para el análisis de la película lagrimal y terapias para el ojo seco [26].
- **En “Infrared Thermography On Ocular Surface Temperature: A Review.”** La temperatura corporal es un buen indicador de la salud humana. La termografía es una forma no invasiva, utilizada para registrar los patrones térmicos con infrarrojos (IR) de la cámara. Proporciona documentación visual y cualitativa de los cambios de temperatura en los tejidos vasculares, y ha estado jugando un papel importante en el campo de la oftalmología. Este artículo trata sobre el funcionamiento, el uso y las ventajas de la termografía de infrarrojos en el campo de la oftalmología. Se utilizan diferentes algoritmos para adquirir la temperatura de la superficie ocular (OST), que pueden ser utilizados para el diagnóstico de enfermedades oculares que se discuten en este [2].
- **En “Thermography In Ocular Inflammation”** Se utilizó una cámara termográfica (FLIR P 620) para tomar imágenes térmicas de los siete casos de inflamación ocular, dos casos de patología ocular no inflamatoria, y un sujeto sano con sólo un error refractivo leve. Los casos inflamatorios oculares incluyen cinco casos de escleritis, un caso de uveítis anterior postoperatoria, y un caso de disfunción de las glándulas de Meibomio con queratitis (MGD-queratitis). Condiciones no inflamatorias incluyen un caso de hiperplasia linfóide reactiva conjuntival benigna (BRLH) y un caso de corio - retinopatía central serosa. Se tomaron 15 fotografías térmicas y no térmicas y mediante el uso de un software de análisis, se calculó la temperatura de la superficie ocular. Resultados: los pacientes con episodio nuevo de escleritis revelaron altas temperaturas. Los ojos con MGDqueratitis representan la temperatura más baja en el ojo clínico más afectada. Conjuntival BRLH mostró una lesión fría en la termografía en el sitio de participación, en contraste con los casos de escleritis con presentación clínica similar. [13].
- **En “Ocular Thermography”** La temperatura superficial del ojo o piel periorbital puede ser determinada por contacto o por medición de la cantidad de radiación emitida. Este último método es en la práctica más conveniente y precisa, usando un instrumento tal como un bolómetro, que registra la temperatura directamente en un dial, o un dispositivo de formación de imágenes de infrarrojos que produce una imagen térmica [19].

3 Marco Teórico

3.1 El Ojo Humano

El ojo es un órgano muy complejo, de aproximadamente 25,4 mm de ancho, 25,4 mm de profundidad y 23 mm de alto. Su función es la de producir una imagen óptica sobre una capa de células sensibles a la luz. El sistema es similar al de una cámara fotográfica: un sistema de lentes transparentes produce una imagen inversa sobre una película, la retina. El ojo humano se divide en tres partes. La túnica externa (esclerótica, córnea, humor acuoso y humor vítreo), la túnica media (coroides, cristalino e iris) y la túnica interna (retina y nervio óptico).

3.1.1 Túnica Externa.

- **Esclerótica o esclera (parte blanca del ojo).**

Es una membrana de color blanco, gruesa, resistente y rica en fibras de colágeno. Tiene un peso aproximado de 1,15 g. El radio varía entre 11 y 12 mm. Su función es la de darle forma y proteger los elementos internos. Está formada por tres capas: Fusca: es la capa más interna y contiene abundantes vasos. Fibrosa: está compuesta por fibras de colágeno. Epiesclera: es una membrana que facilita el deslizamiento del glóbulo ocular con las estructuras vecinas.

- **Córnea.**

Parte externa del ojo que se encarga de proteger el cristalino y el iris permitiendo el paso de la luz. La córnea tiene un diámetro de alrededor de 11 mm, un grosor de 1 mm a nivel de la unión con la esclerótica y de 0,5 mm en la proximidad del centro. La temperatura de la córnea con el ojo abierto es de unos 32 °C. Cuando el ojo está cerrado se eleva alcanzando los 36 °C. El índice de refracción es de 1,3375.

- **Humor acuoso.**

Sustancia acuosa y diluida formada por un 99% de agua, ocupa la parte frontal del ojo y le da forma. Es producido continuamente por el cuerpo ciliar y alimenta al cristalino y la córnea. Su índice de refracción es de 1,336. Se encuentra en la cámara anterior (0,25 ml) y en la cámara posterior (0,06 ml).

- **Humor vítreo.**

Sustancia gelatinosa y transparente que ocupa en un 80% el compartimiento posterior de la cavidad del globo ocular, la cual se localiza detrás del cristalino y es limitada por el cristalino mismo con su aparato suspensor y por la retina. El peso específico es de 1,005 g, el índice de refracción 1,338 y contiene 98,4% de agua.

3.1.2 Túnica Media.

- **Coroides.**

Es una membrana profusamente irrigada con vasos sanguíneos que traen oxígeno y nutrientes hasta el ojo y tejido conectivo. Presenta una pigmentación oscura debido a la presencia de Melanina y la abundancia de vasos sanguíneos, lo que ayuda a absorber la luz que llega al ojo y prevenir así su reflexión. La función de la coroides es mantener la temperatura constante y nutrir algunas estructuras del glóbulo ocular. La coroides tiene un 85% del flujo sanguíneo ocular.

- **Cristalino.**

Lente del ojo biconvexa y transparente que ayuda a atraer los rayos de luz para que se concentren en la retina. También el cristalino es una estructura avascular, suspendida por fibras que constituyen la zónula de Zinn. El cristalino está formado por una cápsula, por un epitelio sencillo dispuesto debajo de la cápsula, en la parte anterior, y por una masa principal, la sustancia del cristalino.

- **Iris.**

Regula la cantidad de luz, aumentando o disminuyendo su tamaño de acuerdo a la intensidad de esta. El iris es la membrana coloreada y circular del ojo que separa la cámara anterior de la cámara posterior. Posee una apertura central de tamaño variable que comunica las dos cámaras: la pupila. La función principal del iris es la de permitir a la pupila dilatarse o contraerse con el objetivo de regular la cantidad de luz que llega a la retina.

3.1.3 Túnica Interna.

- **Retina.**

Es un tejido sensible a la luz, en ella se encuentran células fotosensibles conocidas como conos y bastones. La retina se encarga de recibir las imágenes y las convierte en señales eléctricas que son enviadas a través del nervio óptico. La retina normalmente es de color rojo debido a su abundante suministro de sangre.

- **Nervio Óptico.**

El nervio óptico está compuesto por axones de las células fotorreceptoras situadas en la retina, capaces de convertir la luz en impulsos nerviosos. Transmite la información visual desde la retina hasta el cerebro para realizar funciones de reconocimiento de imágenes o patrones. Es un nervio sensorial que emerge del globo ocular; es el nervio que nos permite la visión. Mide aproximadamente 4 centímetros de longitud [8, 10].

3.2 Fisiopatología De La Película Lagrimal.

La parte expuesta del globo ocular, formada por la córnea y la conjuntiva bulbar, está cubierta por una delgada película líquida conocida como la película lagrimal pre-ocular. La película lagrimal es la superficie del ojo que permanece en contacto más directo con el medio. Es de crucial importancia para proteger el ojo de influencias externas y para mantener la salud de la córnea y la conjuntiva subyacentes. La estabilidad óptica y la función normal del ojo dependen de un aporte adecuado del líquido que cubre la superficie. La película lagrimal es una película húmeda muy especializada y bien organizada, que cubre las conjuntivas bulbar y palpebral y la córnea. Está formada por y se mantiene gracias a un sistema elaborado por el aparato lagrimal, que tiene componentes secretores, excretores y de distribución. El componente secretor comprende la glándula lagrimal, tejido glandular lagrimal accesorio, las glándulas sebáceas de los párpados, las células califormes y otros elementos secretores de mucina de la conjuntiva (Ver Figura 1a) [4, 9]. La eliminación de las secreciones lagrimales se basa en el movimiento de las lágrimas a través del ojo, favorecido por el parpadeo y un sistema de drenaje que consta de las aberturas u orificios, los canaliculos y el saco lagrimal y el conjunto lacrimonasal (Ver Figura 1b).

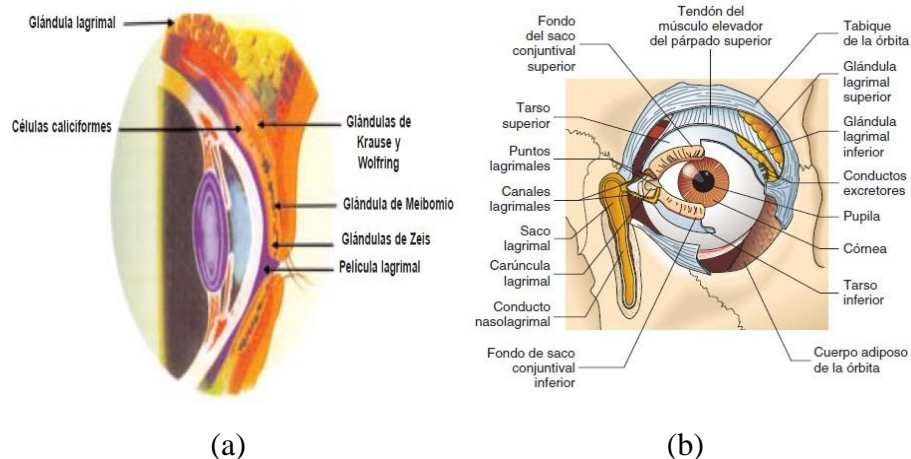


Figura 1: Fisiología Del Ojo Humano: (a) Corte Transversal [4], (b) Aparato Lagrimal.
Fuente: Fisiopatología de la película lagrimal [9]

Por definición, una película es una capa delgada que puede permanecer en sentido vertical sin flujo gravitacional apreciable, y la película lagrimal satisface este criterio. La buena agudeza visual y la integridad del epitelio exigen la presencia de una película lagrimal continua sobre la superficie ocular expuesta, que además favorece el parpadeo. La película lagrimal cumple:

- Una función óptica porque mantiene una superficie corneal ópticamente uniforme.
- Una función mecánica con el lado de restos celulares, sustancias extrañas, de la córnea y el saco conjuntival, y lubricación de la superficie.
- Una función nutricia para la córnea.
- Una función antibacteriana.

La composición de la película lagrimal debe mantenerse dentro de límites cuantitativos y cualitativos bastantes estrechos para preservar la integridad y el funcionamiento correcto del sistema visual. Las anomalías de la película lagrimal que afectan sus componentes o su volumen provocan disfunción grave de los párpados y la conjuntiva, con pérdida simultánea de la transparencia corneal. El parpadeo y los movimientos oculares extienden de manera uniforme una delgada película lagrimal sobre la córnea. La película lagrimal puede dividirse de manera arbitraria en cuatro partes principales:

- La película lagrimal marginal a lo largo de las porciones húmedas del párpado, que se localiza por detrás de la banda lipídica secretada por las glándulas tarsales.
- La porción que cubre la conjuntiva palpebral.
- La porción que cubre la conjuntiva bulbar.
- La película lagrimal pre-corneal que cubre la córnea.

Se considera que las porciones marginal, palpebral y conjuntival conforman la película lagrimal pre-ocular. El término lágrimas se refiere al líquido presente como película pre-corneal y localizado en el saco lagrimal. El volumen de líquido lagrimal es de alrededor de 5 a 10 μL , con velocidad de secreción normal alrededor de 1-2 $\mu\text{L}/\text{minuto}$. La glándula lagrimal produce alrededor del 95% de esta secreción y las células caliciformes y las glándulas lagrimales accesorias de la conjuntiva producen cantidades menores. La masa total de estas últimas es de aproximadamente un décimo

de la masa de la glándula principal. El componente secretor del aparato lagrimal aporta la lágrima acuosa, los lípidos y el moco, todos los elementos importantes de la película lagrimal y sus límites [4, 8].

3.2.1 Capas De La Película Lagrimal.

La película lagrimal está formada por tres capas

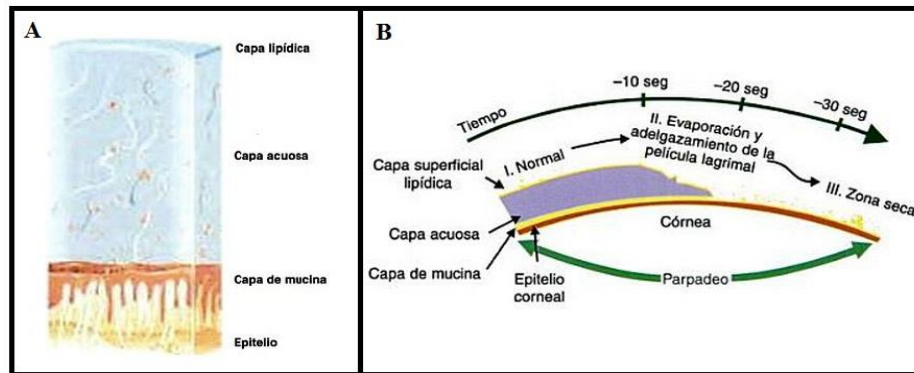


Figura 2: Capas De La Película Lagrimal Y Mecanismo De Ruptura De La Película Lagrimal
Fuente: Fisiopatología de la película lagrimal. Ojo seco y otros trastornos de la superficie ocular [4].

3.2.1.1 Capa Superficial Lipídica.

La capa superficial localizada en la superficie de contacto aire-lágrima se forma sobre la parte acuosa de la película lagrimal a partir de las secreciones oleosas de las glándulas de Meibomio y las glándulas sebáceas accesorias de Zeis y de Moll. Las aberturas de las glándulas de Meibomio se distribuyen a lo largo del borde palpebral, inmediatamente por detrás de los folículos de las pestañas. El carácter químico de la capa lipídica es, en esencia, céreo, y contiene ésteres de colesterol y algunos lípidos polares. El espesor de esta capa varía en función del ancho de la hendidura palpebral y oscila entre 0,1 y 0,2 μm . Al ser de naturaleza oleosa, forma una barrera a lo largo de los bordes palpebrales que retiene la banda de lágrimas del borde palpebral y evita que se derrame sobre la piel. Esta capa es tan delgada que no hay patrones de interferencia para colores, como los que normalmente se observan sobre una superficie oleosa. Sin embargo, si uno desvía los ojos hacia la posición de la nariz se puede observar el espesor de la capa oleosa y colores interferenciales definidos. Esta capa lipídica tiene las siguientes funciones principales:

- Reduce la velocidad de evaporación de la capa lagrimal acuosa subyacente.
- Aumenta la tensión superficial y ayuda a la estabilidad vertical de la película lagrimal, de manera que las lágrimas no se derramen por el borde palpebral inferior.
- Lubrica los párpados mientras éstos se deslizan sobre la superficie del glóbulo ocular.

3.2.1.2 Capa Media Acuosa.

La capa intermedia de la película lagrimal es la fase acuosa, que es secretada por la glándula lagrimal principal y las glándulas accesorias.

Esta capa representa casi el espesor total de la película lagrimal, 6,5-10 μm , mucho más gruesa que la fina capa superficial oleosa. Esta capa contiene dos fases: una más concentrada y una muy diluida. La tensión entre las fases en la capa acuosa-mucina adsorbida puede ser bastante baja

debido a la formación de gran cantidad de enlaces de hidrógeno a través de la superficie de contacto. Esta capa contiene sales inorgánicas, proteínas acuosas, enzimas, glucosa, urea, metabolitos, electrolitos, glicoproteínas y biopolímeros superficiales activos. La captación de oxígeno a través de la película lagrimal es esencial para el metabolismo normal de la córnea. Esta capa cumple cuatro funciones fundamentales:

- La más importante es que suministra oxígeno atmosférico al epitelio corneal.
- Posee sustancias antibacterianas como la lactoferrina y la lisozima. Por lo tanto, los pacientes con ojo seco son más susceptibles a la infección que aquellos con ojo normal.
- Brinda una superficie óptica lisa, óptima para eliminar algunas pequeñas irregularidades de la córnea.
- Elimina por lavado restos de la córnea y la conjuntiva.

3.2.1.3 Capa Posterior De Mucina.

La capa más interna de la película lagrimal es una delgada capa mucoide elaborada por células caliciformes de la conjuntiva. Es el estrato más profundo de la película lagrimal pre-corneal. Esta capa es aún más delgada que la capa lipídica y mide de 0,02 a 0,04 μm de espesor. Se adsorbe sobre la superficie epitelial de la córnea y la conjuntiva, lo que las vuelve hidrófilas y adopta el aspecto con relieve de las microvellosidades de las células epiteliales superficiales que cubre. La película lagrimal pre-ocular depende de un suministro constante de moco, que debe tener características fisicoquímicas apropiadas para mantener una hidratación adecuada de las superficies corneal y conjuntival. Los filamentos de moco presentes en la película lagrimal actúan como lubricantes, lo que permite que el borde palpebral y la conjuntiva palpebral se deslicen uno sobre otro con suavidad, con una pérdida mínima de energía por fricción durante el parpadeo y los movimientos oculares de rotación. Asimismo, cubren los cuerpos extraños con un revestimiento resbaloso, que protege la córnea y la conjuntiva de los efectos abrasivos de estas partículas cuando se desplazan por los movimientos constantes de parpadeo. El moco contribuye a la estabilidad de la película lagrimal pre-ocular y le suministra una fijación a la conjuntiva, pero no a la superficie corneal. Ésta se encuentra cubierta por innumerables microvellosidades finas que brindan cierto sostén a la película lagrimal. El moco disuelto en la fase acuosa favorece la extensión de la película lagrimal al alisarla sobre la superficie corneal para formar una superficie refringente regular y perfecta. Así, la capa de mucina, que es una glucoproteína, convierte una superficie hidrófoba en una superficie hidrófila y permite que el epitelio corneal esté adecuadamente humedecido. Además de cantidades suficientes de lágrimas acuosas y de mucina, se requieren otros tres elementos para que la película lagrimal pre-corneal cubra de manera eficaz la superficie de la córnea.

- El reflejo palpebral normal es esencial para garantizar que la mucina sea traída de la conjuntiva inferior y friccionada sobre el epitelio corneal.
- La congruencia entre la superficie ocular externa y los párpados garantiza que la película lagrimal precorneal se extienda de manera uniforme sobre toda la córnea.
- Se requiere epitelio normal para la adsorción de mucina sobre sus células superficiales. Los pacientes con cicatrices y queratinizaciones corneales tienen problemas de interferencia con el humedecimiento corneal.

La película lagrimal no es visible sobre la superficie del ojo, pero en los bordes palpebrales superior e inferior se puede observar una banda de 1mm de líquido lagrimal con una superficie externa

cóncava. Es aquí donde la superficie oleosa impide que se derrame líquido lagrimal sobre el margen palpebral. Las lágrimas que forman la banda lagrimal superior son conducidas desde el fondo del saco temporal superior en dirección a la nariz. En el canto externo las lágrimas caen por gravedad para formar la banda inferior; al extenderse en sentido medial, las bandas superior e inferior alcanzan el pliegue y la carúncula, donde se unen. El líquido lagrimal no rebosa el ojo por gravedad, pero una delgada película se extiende sobre la córnea como consecuencia del parpadeo y los movimientos oculares.

3.2.2 Dinámica De La Formación De La Película Lagrimal.

Por lo general, durante el cierre de los párpados, los bordes palpebrales comprimen la capa superficial lipídica de la película lagrimal, porque es desfavorable desde el punto de vista energético que el lípido penetre bajo los párpados en el fondo del saco. Por lo tanto, aumenta 1000 veces el espesor de la capa lipídica, hasta alcanzar un espesor de 0,1 mm, que puede ser contenido con facilidad entre los bordes palpebrales adyacentes.

La capa lagrimal acuosa permanece uniforme bajo los párpados y actúa como lubricante entre éstos y el globo ocular. En un parpadeo completo los meniscos lagrimales se unen y la mayor parte de su volumen se mantiene en su unión, para llenar el delicado puente formado por la unión de los párpados, y el canto.

Cuando se abren los párpados, primero se forma una superficie lagrimal acuosa sobre la que se extiende con rapidez el lípido comprimido. La capa lipídica mono molecular es la primera en extenderse a velocidades limitadas sólo por el movimiento palpebral. Después de la extensión de la monocapa lipídica el exceso de lípidos y las macromoléculas asociadas se distribuyen sobre la superficie de la película lagrimal a menor velocidad, por lo general la capa lipídica se detiene un segundo después de la apertura de los ojos.

En condiciones normales una persona parpadea 15 veces por minuto, en promedio. Algunos de estos parpadeos pueden no ser completos (el párpado superior desciende sólo la mitad hacia el párpado inferior). Por lo general el tiempo de ruptura (break-up-time, BUT) de la película lagrimal es más prolongado que el intervalo entre los parpadeos y no se produce desecación corneal.

El valor normal del BUT varía de 10 a 40 segundos en los ojos normales (Ver Figura3B), cuando se determina mediante un método no invasivo. Es posible registrar valores de BUT de hasta 3 a 5 minutos. Si el BUT es más breve que el intervalo promedio entre dos parpadeos consecutivos, la rotura de la película lagrimal puede provocar cambios patológicos en el epitelio subyacente.

Por lo general hay un equilibrio entre la secreción y la excreción de lágrimas, y la velocidad de drenaje lagrimal aumenta de forma proporcional con el volumen de lágrimas.

3.2.3 Drenaje Lagrimal Normal.

En la película lagrimal normal el 10 al 25% del total de lágrimas secretado se pierde por la evaporación. La velocidad de evaporación es baja debido a la superficie oleosa protectora. En ausencia de esta capa oleosa protectora la velocidad de evaporación aumenta de 10 a 20 veces. En condiciones normales la lágrima fluye a lo largo de las bandas marginales superior e inferior e ingresa por capilaridad, y quizá también por succión, en los canaliculos superiores e inferiores.

Alrededor del 70 % del drenaje lagrimal se produce a través canalículo inferior y restante, a través del canalículo superior. Las porciones pretasales superficial y profunda del músculo orbicular comprimen la ampolla insertadas en la fascia del saco lagrimal, contraen y expanden el saco. Esto genera una presión negativa que succiona las lágrimas de los canalículos hacia el saco. Cuando se abren los ojos, los músculos se relajan, el saco colapsa, los que genera una presión positiva que impulsa a las lágrimas por el conducto hacia la nariz. La gravedad también desempeña un papel importante en el vaciamiento del saco. Las aberturas se desplazan en sentido lateral, los canalículos se alargan y se llenan de lágrimas.

3.2.4 Composición De Las Lágrimas.

Las lágrimas contienen 98,2% de agua y 1,8% de sólidos. El alto porcentaje de agua de las lágrimas es una consecuencia natural de la necesidad de lubricar la conjuntiva y la superficie de la córnea. La evaporación del agua entre los parpadeos puede influir en la concentración de la película lagrimal. Se ha observado que la velocidad de evaporación del agua a partir de la película lagrimal pre-corneal a través de la capa superficial lipídica es de 8×10^{-7} cm.seg⁻¹. En un intervalo de 10 segundos (entre dos parpadeos consecutivos) el espesor de la película lagrimal disminuye alrededor de 0,1 mm, lo que determina un aumento de la concentración de agua de casi el 1-2%. En cambio, la concentración de solutos aumenta aproximadamente el 20%.

3.3 Propiedades Físicas De Las Lágrimas.

3.3.1 El PH De La Lágrima.

El pH de las lágrimas no estimuladas es de alrededor de 7,4 y se aproxima al del plasma sanguíneo. Si bien se observan amplias variaciones en los individuos normales (entre 5,0 y 8,35), los límites habituales son de 7,3 a 7,7. Se observa un pH más ácido de alrededor de 7,25 después del cierre palpebral prolongado, lo que quizá se deba al dióxido de carbono producido por la córnea y atrapado en la reserva de lágrimas subpalpebral. El pH de la lágrima es característico de cada individuo y el mecanismo amortiguador normal lo mantiene en un nivel relativamente constante durante las horas de vigilia. La permeabilidad del epitelio corneal no parece ser afectada por amplias variaciones de pH del líquido lagrimal.

3.3.2 Presión Osmótica.

La presión osmótica de las lágrimas, que depende sobre todo de la presencia de electrolitos, es de alrededor de 305 mOsm/kg, lo que equivale a cloruro de sodio al 0,95%. Los valores individuales a lo largo de las horas de vigilia pueden variar de 0,90 a 1,02% equivalentes de NaCl. Se ha observado una disminución a un promedio de 285 mOsm/kg, equivalente a NaCl al 0,89%, después del cierre palpebral prolongado, que explica la menor evaporación. Cuando se cierran los párpados no hay evaporación de lágrimas y la película lagrimal pre-corneal está en equilibrio osmótico con la córnea. Al abrir los ojos se produce una evaporación, lo que aumenta la tonicidad de la película lagrimal y genera un gradiente osmótico del humor acuoso a través de la córnea hacia la película lagrimal. La presión osmótica es sensible a los cambios del flujo lagrimal.

3.3.3 Otras Propiedades De La Lágrima.

- Índice refractivo: 1,357.
- Volumen de lágrimas: 0,03 – 0,04 onzas [4].

3.4 Termografía Infrarroja

La termografía infrarroja es una técnica que nos permite obtener la temperatura de una superficie con precisión sin tener contacto con ella. Gracias a los principios físicos podemos convertir las mediciones de la radiación infrarroja en mediciones de temperatura, esto se logra midiendo la radiación emitida en la porción infrarroja del espectro electromagnético desde la superficie del objeto, convirtiendo estas mediciones en señales eléctricas que luego son procesadas y convertidas en imágenes [33].

La primera aplicación documentada de imágenes infrarrojas en medicina fue en 1956, cuando pacientes con cáncer de seno fueron examinadas analizando puntos asimétricos calientes y vascularización en imágenes infrarrojas de sus senos. Desde entonces, numerosos resultados de investigaciones se han publicado y la década de los 60 fue testigo de la primera oleada de aplicaciones médicas de tecnología de infrarrojos, con detección de cáncer de seno como práctica principal. Recientemente, avances en un par de aéreas han impulsado el papel de las imágenes infrarrojas en la medicina. Estos avances, incluyendo el desarrollo de la nueva generación tecnológica de infrarrojos, los algoritmos inteligentes en el procesamiento de imágenes y la comprensión fisiopatológica basada en las imágenes infrarrojas, proporcionan un bajo costo, no invasivo, no destructivo y cómodo para el paciente aproximándose al seguimiento y análisis de la salud, así como ayuda en el diagnóstico [23]. “Infrared thermography and image analysis for biomedical use” es una revisión de las ventajas tecnológicas de la termografía infrarroja, con el foco en los nuevos avances y oportunidades para la formación de imágenes de infrarrojos, como una herramienta de diagnóstico médico confiable. En este artículo en primer lugar se hace una breve historia del desarrollo de la termografía en la medicina, luego se ofrece una visión general sobre los resultados de la investigación clínica y biomédica y mejoras metodológicas en aplicaciones establecidas de termografía infrarroja. En tercer lugar, se discuten los resultados publicados y las actividades de investigación y desarrollo de los últimos tres años para estudiar algunas de las funciones vitales de la fisiología humana utilizando la técnica de la termografía infrarroja; concluyendo que esta proporciona información valiosa en función de parámetros cuantificables del funcionamiento de un órgano determinado [1].

3.4.1 Principios Físicos De La Termografía Infrarroja

Todo cuerpo cuya temperatura se encuentre por encima del cero absoluto (0° K) emite radiación infrarroja en relación a su temperatura. La radiación infrarroja es un tipo de radiación electromagnética cuya longitud de onda se encuentra comprendida entre 700nm y 1 mm.

Su descubrimiento se debe a Sir. William Herschel, quien detectó en el espectro de la radiación solar un aumento significativo de temperatura en la región situada más allá del rojo de la cual no provenía luz visible. Posteriormente Kirchhoff, Wien y Stephan estudiaron de forma experimental sus leyes y propiedades [28]. La principal fuente de radiación infrarroja se debe a la radiación térmica, que es producida por el movimiento de los átomos lo cual depende de la temperatura en la que se encuentre el objeto, entre mayor sea la temperatura, mayor es el movimiento atómico y la radiación producida.

Los seres humanos emiten una radiación perteneciente a una longitud de onda que va desde las 10 micras hasta los 10.000 nanómetros. En una cámara termográfica las áreas rojas corresponden a la

mayor temperatura, seguidas por las amarillas, verdes y por último las azules que determinan las zonas más frías [22].

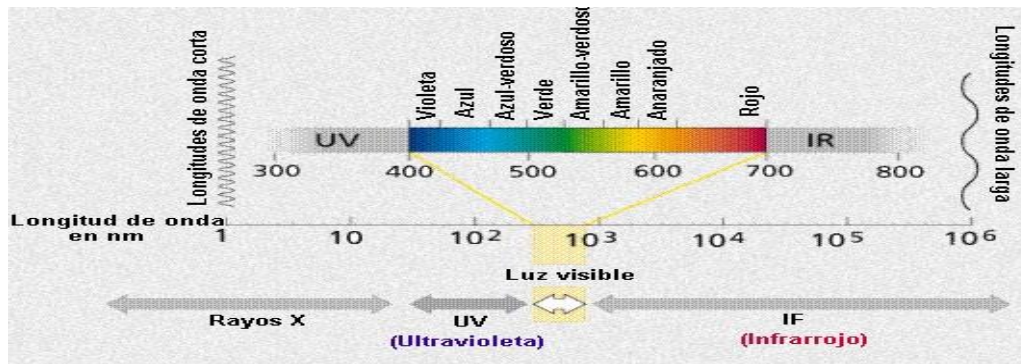


Figura 3: Espectro Electromagnético.

Fuente: <http://rodcontre.wordpress.com/category/tecnologia/>

3.4.1.1 Radiación De Cuerpo Negro.

De acuerdo a la teoría de radiación térmica, un cuerpo negro es considerado como un cuerpo ideal que absorbe toda la radiación incidente e irradia más radiación térmica en todas las longitudes de onda según la ley de Planck.

La energía radiada por un cuerpo negro en función de la longitud de onda, está dada por:

$$E(\lambda, T) = \frac{c_1}{\lambda^5 \left(e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1 \right)}$$

Ecuación 1: Radiación De Cuerpo Negro

Donde $c_1 = 2.3742 \times 10^{-16} Wm^2$, $c_2 = 1.4385 \times 10^{-2} mK$ son constantes y T es la temperatura en grados Kelvin [34].

3.4.1.2 Ley De Stefan Boltzman.

Para superficies reales, integrando la ley de Planck obtenemos la ley de Stefan-Boltzman.

$$E = \epsilon \sigma T^4$$

Ecuación 2: Ley De Stefan Boltzman

Donde σ es la constante de Stefan-Boltzman que es igual a $5.676 \times 10^{-8} W/m^2 K^4$ T es la temperatura absoluta en grados Kelvin, y ϵ es la emisividad de la superficie que emite a una longitud de onda fija y una temperatura absoluta T. Para un cuerpo negro la emisividad es igual a 1, pero para casos reales la emisividad siempre es menor a 1.

3.4.1.3 Ley Del Desplazamiento De Wien.

Cuando aumenta la temperatura de un radiador ideal en este caso un cuerpo negro, también aumenta la energía radiada general y el pico de la curva de radiación se mueve hacia longitudes de onda más cortas [23], Si se evalúa el máximo partiendo de la ley de radiación de Planck obtenemos:

$$\lambda T = 2.898 \times 10^{-3} m \cdot K$$

Ecuación 3: Ley Del Desplazamiento De Wien

3.5 Análisis Estadísticos De Los Datos Experimentales

3.5.1 Normalización de datos

El análisis de datos permite extraer de una medida o de un conjunto de medidas la información que requiere el observador. Un análisis estadístico permite conocer si hay diferencia significativa entre los parámetros de dos tipos de muestra, se debe empezar realizando una prueba de normalidad gaussiana para este estudio debido al fenómeno físico de donde se general los datos. Un conjunto de medidas (de una magnitud continua) se agrupan siguiendo una distribución gaussiana si podemos suponer que se dan las siguientes condiciones:

1. Cada una de las medidas está afectada por infinitos factores incontrolables y aleatorios.
2. Cada uno de los factores modifica la medida en una cantidad infinitesimal.
3. Los factores pueden afectar a la medida por exceso o por defecto con la misma probabilidad.

La expresión analítica de una distribución gaussiana depende de 2 parámetros independientes: μ y σ , Para este caso el ajuste de la distribución de los datos adopta la forma Platicúrtica



Figura 4: Forma Curva De Distribución De Los Datos.

Fuente: Medidas De Las Formas, sitio web: <https://es.slideshare.net/JoanFernandoChipia/medidas-de-forma-14693636>

3.5.2 Prueba U De Mann-Whitney

Al analizar la muestra total se encuentra que el rango absoluto de la disminución de temperatura indicada por la pendiente negativa de la superficie ocular de los sujetos sanos en posición de fijación con parpadeo para los ojos derechos fue de 34,8 °C a 34,4 °C mientras que para los ojos izquierdos fue de 35,3 °C a 35,1 °C. Para los sujetos con síndrome de ojo seco se determinó una disminución de la temperatura con una pendiente absoluta de 35,2 °C a 34,8 °C para los ojos derechos y de 35,3 °C a 34,7°C para los ojos izquierdos. Con la muestra total y tomando como referencia la variación de temperatura de los sujetos del estudio, sanos y diagnosticados con SOS, se realiza una prueba de normalidad de esos datos, encontrándose aproximadamente normales sobre todo para sujetos con ojo seco, por lo cual se decide realizar la prueba **U de Mann-Whitney** para datos NO paramétricos con base en la cual se compararon las dos muestras independientes (grupo de sujetos sanos y grupo con síndrome del ojo seco).

La prueba U de Mann-Whitney se realizó basado en el siguiente procedimiento guiado por la literatura estadística del mismo:

3.5.2.1 Planteamiento de la prueba

La prueba de Mann-Whitney se usa para comprobar la heterogeneidad de dos muestras ordinales. El planteamiento de partida es:

1. Las observaciones de ambos grupos son independientes.
2. Las observaciones son variables ordinales o continuas.
3. Bajo la hipótesis nula, la distribución de partida de ambos grupos es la misma: $P(X > Y) = P(Y > X)$
4. Bajo la hipótesis alternativa, los valores de una de las muestras tienden a exceder a los de la otra: $P(X > Y) + 0.5 P(X = Y) > 0.5$.

3.5.2.2 Cálculo Del Estadístico U

Para calcular el estadístico U se asigna a cada uno de los valores de las dos muestras su rango para construir

$$U_1 = n_1 n_2 + \frac{n_1(n_1 + 1)}{2} - R_1$$

Ecuación 4: Calculo Del Estadístico U_1

$$U_2 = n_1 n_2 + \frac{n_2(n_2 + 1)}{2} - R_2$$

Ecuación 5: Calculo Del Estadístico U_2

donde n_1 y n_2 son los tamaños respectivos de cada muestra; R_1 y R_2 es la suma de los rangos de las observaciones de las muestras 1 y 2 respectivamente.

El estadístico U se define como el mínimo de U_1 y U_2 .

Los cálculos tienen que tener en cuenta la presencia de observaciones idénticas a la hora de ordenarlas. No obstante, si su número es pequeño, se puede ignorar esa circunstancia.

3.5.2.3 Distribución Del Estadístico U

La prueba calcula el llamado estadístico U, cuya distribución para muestras con más de 20 observaciones se aproxima bastante bien a la distribución normal.

La aproximación a la normal, z, cuando tenemos muestras lo suficientemente grandes viene dada por la expresión:

$$z = \frac{U - m_U}{\sigma_U}$$

Ecuación 6: Distribución Del Estadístico U.

Donde m_U y σ_U son la media y la desviación estándar de U si la hipótesis nula es cierta, y vienen dadas por las siguientes fórmulas:

$$m_U = \frac{n_1 n_2}{2}$$

Ecuación 7: Media De U

$$\sigma_U = \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 1)}{12}}$$

Ecuación 8: Desviación Estándar De U

4 Diseño Del Protocolo Experimental

4.1 Objetivo

Diseñar e implementar un protocolo de tipo experimental que permita realizar un estudio comparativo de la función lagrimal humana entre personas sanas y con síndrome del ojo seco (SOS), basada en la variación de temperatura de la superficie ocular, por medio de la cual se pueda establecer un método de diagnóstico cuantitativo para esta enfermedad, utilizando para ello la técnica de la termografía infrarroja.

4.2 Definiciones

- **Área de medición:** Apertura circular en el objetivo que permite que se recoja normalmente el 90% de la energía infrarroja que se ha de coleccionar por el instrumento.
- **° Celsius:** Escala de temperatura, basada en 0° como punto de solidificación del agua y 100° como su punto de ebullición a presión estándar.
- **Cuerpo Negro:** Emisor Perfecto, objeto que absorbe toda la energía radiante que incide en todas las longitudes de onda y que no refleja ni transmite ninguna.
- **Emisividad:** Relación de la energía infrarroja radiada por un objeto a una temperatura y banda espectral determinadas contra la energía emitida por un cuerpo negro a la misma temperatura y banda espectral.
- **Exposición:** Se produce exposición siempre que una persona está sometida a campos eléctricos, magnéticos o electromagnéticos o a corrientes de contacto distintas a las originadas por los procesos fisiológicos en el cuerpo o por otros fenómenos naturales.
- **Hot Spot:** Puntos del espacio en los cuales los niveles de campo son especialmente altos, debido al efecto de la superposición en fase de diversas ondas, provenientes de varios lugares.
- **Infrarrojo:** Parte del espectro electromagnético que se extiende desde el extremo del rojo visible aproximadamente 0.75 μm hasta 1000 μm.
- **Objetivo:** Objeto sobre el que se está realizando la medición de la temperatura.
- **Temperatura:** Grado de calor o frío de un objeto susceptible de ser medido por medio de una escala específica, donde el calor se define como energía térmica en movimiento que fluye desde objetos de temperaturas más altas a objetos de temperatura más bajas.
- **Termómetro de radiación:** Dispositivo que calcula la temperatura de un objeto (con emisividad conocida) como resultado de medir la radiación visible o infrarroja de dicho objeto.

4.3 Instructivo De Trabajo Para La Cámara Termográfica Fluke Ti-32

La cámara FLUKE TI-32 permite una amplia gama de usos a la hora de tomar imágenes termográficas proporcionando imágenes nítidas y claras, además posee una alta sensibilidad térmica que permite identificar pequeñas diferencias de temperatura. Sin embargo, la calidad de

los datos obtenidos por el equipo, están estrechamente relacionados con la adecuada configuración y uso que se le brinde a la hora de captar las imágenes, es por ello que se desarrolla este instructivo de trabajo.

4.3.1 Operaciones De Uso General

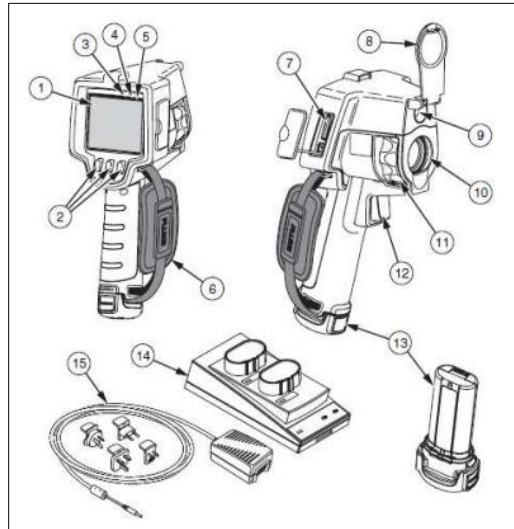


Figura 4: Funciones Y Controles Del Procesador Térmico De Imágenes.
Fuente: Thermal Image Ti-32, Manual De Uso.

Funciones y controles	
Elemento	Descripción
1	Pantalla de cristal líquido (LCD)
2	Teclas programables de función (F1, F2 y F3)
3	Altavoz
4	Micrófono
5	Sensor de luz de fondo automática
6	Correa para la mano
7	Compartimiento del enchufe de alimentación de CA y la tarjeta de memoria SD
8	Cubierta retráctil para la lente.
9	Cámara visual (Luz visible)
10	Lente infrarroja
11	Aro de control de enfoque
12	Disparados de captura de imágenes
13	Paquete de batería de ion de litio inteligente extraíble (2)
14	Base de carga de dos bahías
15	Adaptador de CA y fuente de alimentación

Tabla 1: Funciones Y Controles Del Procesador Térmico De Imágenes
Fuente: Thermal Image Ti-32, Manual de uso.

- Antes de usar la cámara termográfica se debe verificar que las baterías de ion de litio, estén completamente cargadas.
- Si las baterías no se encuentran cargadas se debe introducir las dos baterías en las bahías base de carga y conectarla a una toma corriente teniendo en cuenta el adaptador de alimentación universal. Este proceso puede durar al menos dos horas y media.
- Cuando el indicador de carga de las baterías indique que están completamente cargadas, se pueden extraer e introducir en la cámara termográfica para su posterior uso.
- La cámara consta de 3 teclas programables que permitan encender y configúrala (F1, F2 y F3). Para encenderla se debe pulsar la tecla del medio F2 durante dos segundos.
- Se debe abrir la cubierta retráctil que permite visualizar los objetos enfocados.
- Una vez el equipo este encendido, mostrara en la pantalla de cristal líquido la información de la cámara como el número de serie de la unidad y la frecuencia de captura de las imágenes.
- Después de 3 segundos la cámara termográfica borrara automáticamente la pantalla informativa y mostrara en tiempo real la imagen térmica de los objetos que tenga al frente.
- Los botones localizados bajo la pantalla de cristal líquido (F1, F2 y F3). proporcionan acceso a la pantalla de imagen térmica, a las opciones de almacenamiento y visualización de las imágenes, y a las funciones de configuración como luz de fondo, fecha/hora, emisividad, formato de archivo, idioma, paleta, selección de la lente, compensación de temperatura reflejada de fondo y corrección de transmisión.
- Para mostrar el menú, pulsar la tecla programable central (F2). El texto arriba de cada tecla corresponde a dicha tecla programable a través de todas las pantallas del menú. Para agilizar el paso entre las opciones disponibles o la configuración numéricas, mantener pulsada la tecla (F1) o la tecla (F3). El menú desaparecerá automáticamente pasados unos segundos tras la última pulsación de la tecla y se volverá a mostrar la vista en directo del objeto enfocado.
- La configuración del idioma de la pantalla, la fecha y la hora se hacen a partir del menú principal pulsando la tecla (F2) hasta que la etiqueta de la tecla programable (F3) indique valores, pulsar la tecla F3 y luego pulsar la tecla programable rotulada Arriba o Abajo para mover el cursor hasta encontrar el idioma, fecha y la hora deseable.
- El procesador térmico guarda las imágenes térmicas y visuales en una tarjeta de memoria SD extraíble. La transferencia de las imágenes al PC se realiza extrayendo la tarjeta de memoria SD e insertándola en el PC mediante el lector de tarjetas USB multiformato incluido los accesorios de la cámara termográfica. El software SmartView integra funciones que permite analizar cualitativamente cuantitativamente las imágenes térmicas, organizar el almacenamiento de datos y crear informes profesionales, además exportar las imágenes térmicas y visibles como archivo JPEG, BMP, GIF, TIFF y PNG.

4.3.2 Configuración De La Cámara Termográfica Fluke Ti-32

Los menús, junto con las tres teclas programables proporcionaban acceso a las funciones de configuración como la emisividad, paleta, compensación de temperatura reflejada de fondo y corrección de transmisión, la apropiada configuración de estas funciones permitirá una mayor calidad de las imágenes.

- La escala de temperatura con que se tomaran las medidas es grados Celsius, para configurar las unidades de temperatura se pulsa la tecla (F2) hasta que la etiqueta de la tecla programable F3 indique valores, posteriormente pulsar la opción rotulada Menú, hasta que la tecla programable F3 indique Unidades, y pulsar la respectiva tecla programable hasta encontrar los grados Celsius.
- La paleta seleccionada será Alto contraste, dado que esta proporciona un mayor contraste en temperaturas cercanas, esta se selecciona por medio del menú inicial pulsando la tecla F2 hasta encontrar la Paleta.
- Para obtener una buena resolución térmica, la temperatura de visualización se configura automáticamente a través del menú principal pulsando la tecla (F2) hasta encontrar el rango automático.
- El ajuste del procesador térmico con valores correctos de emisividad es crítico para hacer mediciones exactas de temperatura. Como el cuerpo humano es considerado un emisor casi perfecto, el valor de emisividad es 0.95 (Esto además porque se desconoce el valor de emisividad de la superficie ocular) y lo configuramos en la cámara termográfica a través del menú principal con la opción emisividad y pulsando la tecla programable.
- Los objetos demasiado fríos o cálidos pueden afectar la precisión de la medición de temperatura del cuerpo de interés, sobre todo si la emisividad de la superficie es baja, por lo cual se configuran la temperatura reflejada de fondo a través de la opción Segundo plano en el menú principal. El valor de la temperatura reflejada de fondo se configura según el valor de temperatura ambiente, medida al iniciar las pruebas a través del termohigrómetro digital Hygro HYC-303A.
- El ajuste de la configuración de la corrección de transmisión puede mejorar la exactitud de la medición de temperatura, por lo cual se configura en el proceso térmico el valor de 100% a través de la opción Transmisión en el menú principal.
- Buscando tener mayor precisión, las imágenes se tomarán con la distancia mínima de enfoque para la cámara termográfica con la lente gran angular (7,5 cm) de modo que se visualice muy bien el lóbulo ocular en la imagen térmica. Para que el enfoque se haga de forma correcta se debe girar el aro de control de enfoque hasta que la imagen infrarroja mostrada en la pantalla LCD sea lo más clara posible.

4.3.3 Instalación De La Lente Opcional Gran Angular

Para instalar y utilizar la lente opcional de gran angular en la cámara termográfica:

- Con la cámara apagada, insertar la tarjeta de memoria SD de la lente opcional de gran angular (FLK-TI-LENS/WIDE 1) en la ranura de tarjeta de memoria SD que está ubicada en uno de los lados del equipo.
- Pulsar la tecla F2 para encender la cámara termográfica.
- Seguir las instrucciones que aparecen en la pantalla LCD para instalar los archivos correspondientes en la memoria interna del equipo.
- Luego sacar la tarjeta de memoria SD y volver a insertar la tarjeta de memoria SD utilizada para el almacenamiento de imágenes.

- Acople la lente opcional en el procesador térmico alineado el punto de la lente con el punto del equipo (ver figura)
- Empujar con suavidad la lente opcional hasta colocarla en su posición y gírela en el sentido de las agujas del reloj hasta que se fijen en la posición adecuada.
- Luego es importante seleccionar la opción de lente correspondiente en el menú valores/lente. Pulsando la tecla F3 hasta que la etiqueta de la tecla programable F3 indique Valores. Luego pulsando la tecla programable rotulada Valores. En el menú de ajustes, pulsar, la opción rotulada Menú, hasta que la tecla programable F3 indique Lente. Posteriormente pulsar la tecla programable rotulada Lente. Pulsar la tecla programable rotulada Arriba o Abajo para seleccionar la lente grana angular, pulsar la tecla programable rotulada Terminado cuando haya finalizado.

Importante

IR-Fusión esta deshabilitado cuando se ajusta el procesador de imágenes térmico con la elección de lente de gran angular.

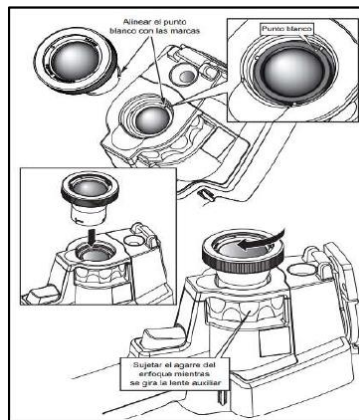


Figura 5: Acoplamiento Y Extracción Del Lente Opcional En La Cámara Termográfica Ti-32
Fuente: Thermal Image Ti.32, Manual De Uso.

4.4 Procedimiento

El procedimiento tiene como fin, llevar a cabo una correcta medición de la temperatura superficial del ojo humano para dos clases diferentes, una clase conformada por 25 personas sanas y 15 personas con síndrome de ojo seco por medio de imágenes termográficas captadas por la cámara termográfica Fluke Ti-32, para ello se debe seguir una serie de pasos que permitan asegurar la fiabilidad de los datos obtenidos experimentalmente y además se debe tener en cuenta el instructivo de trabajo de los equipos a usar en este procedimiento lo cual también garantiza medidas más sólidas.

4.4.1 Equipos Utilizados

4.4.1.1 Cámara Termográfica Fluke Ti-32



Figura 6: Cámara Termográfica Ti-32
Fuente: Thermal Image Ti32, Manual de Uso.

Especificaciones:

- Precisión de la medida de temperatura: $\pm 2^{\circ}\text{C}$ o 2%
- Rango de medición -20 a 600°C (-4 a 1112°F)
- Tipo de detector: Microbolometro no refrigerado basado en una matriz de plano focal de 320×240 pixeles.
- Sensibilidad térmica $\leq 0,45^{\circ}\text{C}$ (45mK)
- Banda espectral infrarroja: $7,5 \mu\text{m}$ a $14 \mu\text{m}$ (onda larga)
- Distancia focal mínima: 46 cm
- Temperatura de trabajo: -10°C a $+50^{\circ}\text{C}$ (-14°F a 122°F)
- Temperatura de almacenamiento: -20°C a $+50^{\circ}\text{C}$ (-4°F a 122°F) sin baterías
- Humedad relativa: 10% a 95% sin condensación.
- Resolución de temperatura 0,01 ($^{\circ}\text{F}$ o $^{\circ}\text{C}$)
- Lente de infrarrojos de gran angular

Distancia mínima de enfoque

- Lente de infrarrojos estándar: 15 cm/6"
- Lente de infrarrojos de teleobjetivo: 45 cm/18"
- Lente de infrarrojo de gran anular: 7,5 cm/3"

4.4.1.2 Termohigrómetro DIGITAL HYDRO – THERMOMETER HTC – 303A



Figura 7: Termohigrómetro Digital
Fuente: Manual de uso.

Especificaciones

- Memoria para altas y bajas temperaturas y humedad.
- Rango de medición: °C-°F
- Temperatura: -20°C a + 50°C (-4°F a 122°F)
- Humedad: 10% a 95%
- Resolución: Temperatura 0.1°C (0.1°F) / Humedad: 1%RH
- Precisión: ± 1.0 °C (1.8°F) / $\pm 5\%$ RH (40%-80%)

4.4.2 Entorno De Medición

- Humedad relativa del aire

La humedad relativa del ambiente puede afectar a la cámara ya que esta se puede condensar y empañar el lente afectando la exactitud de las medidas debido a que parte de la radiación infrarroja que llega a la cámara termográfica se puede perder, ocasionado pérdida de información, debido a esto es recomendable que la humedad relativa sea baja. Durante la captura de imágenes se llevó un seguimiento de la variación de la humedad relativa del aire haciendo uso del termohigrómetro HTC-303A

- Iluminación

Si bien la iluminación no afecta de una manera significativa en las medidas ya que la cámara se puede usar incluso en la oscuridad, es importante evitar fuentes de luz calientes ya que emiten radiación infrarroja como es el caso de la luz proveniente de bombillos, o la luz directa del sol, es por eso que se adecuó el laboratorio de electrofisiología teniendo en cuenta lo anterior con el fin de prevenir errores en las medidas.

- Corriente de aire

Las corrientes de aire pueden afectar las mediciones debido al intercambio de calor por convección, haciendo que el aire cercano a la superficie medida se encuentre a la misma temperatura de esta. Si hay una corriente de aire, habrá variaciones de temperatura debido a que el objeto a medir, no se ha adaptado a la temperatura del ambiente.

4.4.3 Muestra

Para desarrollar el estudio piloto se seleccionaron un total de 40 personas, 25 personas sanas y 15 personas con síndrome de ojo seco. Sin necesidad de hacer referencia al género debido a que esto no fundamenta alguna variable determinante en los resultados (**Anexo H**). Los sujetos con fiebre o antecedentes de migraña no se incluyeron en este estudio, las personas con enfermedades vasculares sistemáticas como la hipertensión y la diabetes presentan una mayor elevación térmica del ojo por la tasa de flujo de sangre en la retina y la coroides, por este motivo no son incluidas en el estudio. Para las personas enfermas solo se tuvieron en cuenta síntomas referentes al síndrome de ojo seco, los individuos sanos y enfermos seleccionados pertenecen a la población de la universidad tecnológica de Pereira en un rango de edad de $(43,2 \pm 14,92)$ en años y $(21,95 \pm 2,86)$ en años respectivamente.

4.4.4 Protocolo De Medición

Para el estudio piloto se asignó un espacio de la UTP, el laboratorio de electrofisiología con nomenclatura 1B-030 que cuenta con unas condiciones ambientales con parámetros normales, cada persona debe de llenar la encuesta Ocular Surface Disease Index para determinar a qué grupo pertenece (sano o enfermo) ver **anexo B**. Los equipos y las personas deberán permanecer 10 minutos en reposo dentro del laboratorio antes de empezar la medición para la respectiva climatización al medio de la superficie ocular, se harán recomendaciones a cada persona como: restringir a los sujetos de SOS la aplicación tópica de cualquier colirio (gotas), cualquier ingesta de alimentos o bebidas dentro de las 2 horas anteriores al experimento, cualquier actividad física extenuante que pudiera afectar la temperatura de la superficie ocular y evitar cuerpos muy fríos o calientes dentro del laboratorio para que la emisividad que se percibe la cámara no afecte las mediciones. Se tomarán las condiciones ambientales en el momento inicial y final de cada toma, Ver **anexo E**. Se configurará la cámara con la temperatura ambiental para disminuir los errores en cada medición, se adecuará la cámara termográfica a 7,5 cm de la córnea debido a que es la distancia mínima de enfoque con lente de infrarrojos de gran angular, Los sujetos sanos como los sujetos con SOS permanecerán con la posición primaria de mirada durante 30 segundos deberán parpadear con normalidad, Luego tendrán una etapa de descanso con los ojos en reposo; es decir, cerrados durante 10 segundos para aumentar la temperatura de la superficie ocular. Posteriormente los sujetos mantendrán los ojos en posición de fijación sin parpadeo durante 30 segundos; en este tiempo se hacen mediciones de la temperatura de la superficie ocular mediante la toma de imágenes termográficas, aproximadamente cada 4 segundos, ya que este es el tiempo que la cámara termográfica Ti32 se tarda para tomar y procesar la imagen térmica. Finalmente, los ojos estarán en posición de fijación con parpadeo normal en la cual se tomarán imágenes termográficas durante otros 60 segundos, en intervalos de 4 segundos. En el **Anexo C** se puede observar con claridad el diagrama del protocolo experimental.

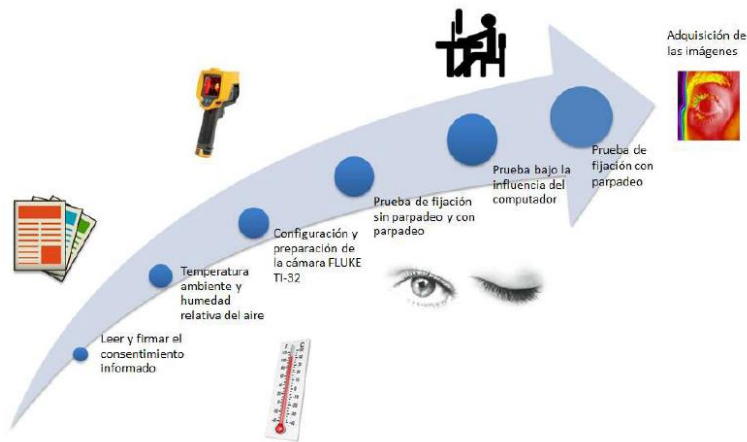


Figura 8: Procedimiento Del Protocolo Experimental
Fuente: Estudio Termográfico Del Ojo Humano Bajo La Influencia De La Pantalla Del Computador

4.4.5 Consentimiento Informado

Antes de iniciar a tomar las imágenes térmicas, se informó al participante acerca del experimento que se va a realizar y deberá formar un acta de consentimiento informado.

El formato del consentimiento informado se puede encontrar en el **Anexo A**.

4.4.6 Procedimiento Para La Estimación De La Incertidumbre

Para la implementación del protocolo de investigación se le debe dar especial atención al reporte de los resultados con su correspondiente estimación de la incertidumbre de medición. La metrología utilizada está basada en la GUM (Guide to the expression of Uncertainty in Measurement), guía de carácter internacional que tiene propósito de unificar criterios para la estimación de la incertidumbre de medición.

En muchos casos la magnitud de salida (Y) no es medible directamente, pero puede determinarse a partir de los valores medidos o determinados de otras magnitudes de entrada. Con el fin de desarrollar correctamente la estimación de la incertidumbre se tiene en cuenta que primero se debe modelar matemáticamente el procedimiento de medición el cual se determina de la relación funcional entre las magnitudes de salida y entrada X_1, X_2, \dots, X_n .

▪ Evaluación de la incertidumbre estándar.

La incertidumbre estándar, definida como la incertidumbre de un resultado de medición expresada como una desviación estándar, se clasifica de acuerdo al método de evaluación empleado para su estimación. Si se estima empleado un método estadístico de evaluación se clasifica como incertidumbre Tipo A, si el método de evaluación se basa en otros métodos diferentes del análisis estadístico de una serie de observaciones, la evaluación es de Tipo B. La estimación de la incertidumbre estándar se aplica a los estimados de las llamadas magnitudes de entrada, que son las magnitudes de las cuales depende el mensurado o magnitud de salida.

1. Evaluación de la incertidumbre Tipo A

Para una magnitud de entrada x que varía aleatoriamente y que su valor se obtiene a partir de n observaciones repetidas, el mejor estimado \bar{x} se obtiene de:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Ecuación 9: Valor Promedio

El mejor estimado de la incertidumbre estándar de Tipo A (U_A) es la desviación estándar ($S(x_i)$) del valor medio.

$$S(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Ecuación 10: Desviación Estándar

$$U_A = \frac{S(x_k)}{\sqrt{n}} = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Ecuación 11: Incertidumbre Tipo A

2. Evaluación De incertidumbre Tipo B

Este tipo de incertidumbre no se obtiene por análisis estadísticos de las mediciones, sino por información preexistente.

➤ Incertidumbre tipo B por especificación de exactitud U_{B1}

Cuando la especificación de incertidumbre no es explícita, si no que se da un límite máximo para el error del instrumento, la incertidumbre estándar se estima así:

$$U_{B1}(x_i) = \frac{\text{especificaciones de exactitud}}{\sqrt{3}}$$

Ecuación 12: Incertidumbre Tipo B₁

Para las especificaciones de exactitud del equipo se toma una tolerancia de 2% y se multiplica por el promedio de medidas tomadas, esto se utiliza ya que las medidas serán obtenidas directamente de un equipo digital.

➤ Incertidumbre tipo B por resolución U_{B2}

Para este caso la incertidumbre está asociada a la resolución de la indicación del instrumento de medición. La resolución corresponde a la sensibilidad del dígito menos significativo y se conoce en el manual de operación del equipo de medición. Existe diferencia entre el cálculo de incertidumbre por resolución para equipos analógicos y digitales, la incertidumbre estándar para este caso se estima así:

$$U_{B2}(x_i) = \frac{\text{Resolución}}{2\sqrt{3}}$$

Ecuación 13: Incertidumbre tipo B₂

3. Evaluación de la incertidumbre combinada

La incertidumbre combinada o total del resultado de una medición magnitud de salida se obtiene combinando apropiadamente las incertidumbres estándar de los estimados de las magnitudes de entrada. Esta incertidumbre se calcula como la raíz cuadrada positiva de la suma de los cuadrados de las varianzas y las covarianzas de las magnitudes independientes. Para esto primero se debe encontrar el valor de los coeficientes de sensibilidad, pero como las medidas son directas y están correlacionadas, el coeficiente de sensibilidad es igual a 1. Por tal razón la incertidumbre combinada se calcula de la siguiente manera:

$$U_c = \sqrt{(U_A)^2 + (U_{B1})^2 + (U_{B2})^2}$$

Ecuación 14: Incertidumbre Combinada

Una vez calculada la incertidumbre estándar combinada se debe proceder a evaluar si es posible la aplicación del Teorema del Limite Central, para ello se utiliza el criterio de la distribución dominante:

$$\frac{\mu_R(\gamma)}{\mu_1(\gamma)} < 0,3$$

Ecuación 15: Teorema Del Limite Central

Siendo μ_1 la incertidumbre estándar de mayor magnitud y μ_R la combinación de las incertidumbres estándar restantes.

La importancia de este teorema radica en que es el soporte de que en el mundo real los sistemas de medición son la combinación de diferentes magnitudes de entrada caracterizadas con distintas distribuciones de probabilidad para conformar la función de la magnitud de interés, caracterizada por una distribución aproximadamente normal, y poder así obtener su distribución estándar compuesta junto con su número efectivo de grados de libertad.

4. Evaluación de la incertidumbre U_E

Una vez calculada la incertidumbre combinada, se procederá a hacer el cálculo de la incertidumbre expandida, para ello se debe encontrar un factor de cobertura y calcular el número efectivo de grados de libertad. Esta incertidumbre define el intervalo alrededor del resultado de una medición, dentro del cual se espera encontrar, con un nivel de confianza determinado, los valores que pudieran atribuirse al mensurando.

$$U_E = K \cdot U_C$$

Ecuación 16: Incertidumbre Expandida

Para hallar el valor de la incertidumbre expandida, se debe multiplicar la incertidumbre estándar combinada por el factor K de cubrimiento correspondiente al número efectivo de grados de libertad

γ_{ef} . El factor K se calcula para un nivel de confianza del 95% de acuerdo con la distribución normal.

5. Estimación de los grados efectivos de libertad. γ_{ef}

Cuando se combinan varias fuentes de incertidumbre con sus respectivas distribuciones para obtener la incertidumbre combinada del mesurando, el Teorema del Limite Central permite aproximar la distribución resultante por una distribución normal. La aproximación será mejor mientras más grande sea el número de fuentes y sus contribuciones sean similares, independiente de la forma particular de sus distribuciones. Para esto se emplea la siguiente expresión:

$$\gamma_{ef} = \frac{U_C^4}{\frac{U_C^4}{\gamma_1} + \frac{U_{B1}^4}{\gamma_2} + \frac{U_{B2}^4}{\gamma_3}}$$

Ecuación 17: Estimación Grados Efectivos De Libertad

Donde γ_1 γ_2 γ_3 son el número efectivo de grados de libertad de cada contribución U_A , U_{B1} , U_{B2} . Para evaluación Tipo A por repetitividad, depende directamente del número de datos considerados y disminuye conforme el número de parámetros estimados a partir de los mismos datos. La repetitividad de una medición, estimada por la desviación estándar experimental de n lecturas tiene el siguiente número de grados de libertad:

$$\gamma_1 = n - 1$$

Ecuación 18: Numero Grados De Libertad

6. Elección del factor de cobertura k

El factor de cobertura se selecciona sobre la base del nivel de confianza que se desea asociar al intervalo de confianza. Estimar el factor de cobertura significa considerar la incertidumbre combinada, es decir, cuan bien U_c estima la variabilidad asociada al resultado de la medición. Este factor es empleado como múltiplo de la incertidumbre estándar combinada, con el objetivo de obtener la incertidumbre expandida. En la tabla 1 se muestran los valores del factor de cobertura k para un nivel de confianza del 95%

Grados De Libertad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
K (95%)	12,71	4,3	3,18	2,78	2,57	2,45	2,36	2,31	2,26	2,23	2,2	2,18	2,16
Grados De Libertad	14	15	16	17	18	19	20	25	30	40	50	100	∞
K (95%)	2,14	2,13	2,12	2,11	2,1	2,09	2,09	2,06	2,04	2,02	2,01	1,948	1,96

Tabla 2: Factor De Cobertura K Para Un Nivel De Confianza Del 95%

Fuente: Llamosa L, Gómez J, Ramírez A. Metodología para la Estimación de la Incertidumbre en Mediciones Directas.

4.4.7 Cálculo De Incertidumbre Para La Cámara Termográfica Ti32

El cálculo de la incertidumbre de medición para las imágenes térmicas obtenidas mediante la cámara termográfica Ti32 se realizará para cada una de las imágenes capturadas. Con ayuda del software

SmartView, obtenemos el valor promedio y la desviación estándar del punto central de la córnea, punto nasal y punto temporal. Las fuentes de incertidumbre que se tendrán en cuenta serán las debidas a la repetitividad de las lecturas tomadas, las especificaciones de exactitud y la resolución.

1. Estimación de incertidumbre tipo A

La incertidumbre tipo A es un método de evaluación de la incertidumbre estándar mediante el análisis estadístico de una serie de observaciones, es decir, un error estadístico. Su cálculo se hace mediante la siguiente fórmula:

$$U_A = \varepsilon(\bar{X}) = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

2. Estimación de incertidumbre tipo B

Para estimar las incertidumbres estándar tipo B se tienen en cuenta las especificaciones y resolución del instrumento de medición. Las especificaciones del fabricante de la cámara termográfica Fluke Ti32 nos da una tolerancia de $\pm 2\%$ o $\pm 2^\circ\text{C}$, por tal razón se debe tomar el valor medio de las lecturas y multiplicarlo por el 2% para obtener el valor de las especificaciones.

$$U_{B1}(x_i) = \frac{\bar{x} \times 0,02}{\sqrt{3}}$$

Para la incertidumbre tipo B2, la resolución del procesador térmico es de $0,01^\circ\text{C}$, por lo tanto, se tiene que:

$$U_{B2}(x_i) = \frac{0,01^\circ\text{C}}{2\sqrt{3}} = 0,0029^\circ\text{C}$$

3. Estimación de la incertidumbre combinada

Una vez calculas las incertidumbres tipo A y tipo B, se hace el cálculo de la incertidumbre combinada y posteriormente la evaluación del Teorema del Limite Central, esto con el fin de calcular el factor de cobertura apropiado. Para la incertidumbre estándar tipo A se evalúan los grados de libertad γ_1 como $n-1$, siendo n el número de mediciones, y para el caso de las incertidumbres estándar tipo B, se considera que los grados de libertad de estas magnitudes son infinitos, debido a su distribución de probabilidad rectangular. De ser necesario se calcula el número efectivo de grados de libertad a partir del criterio de la distribución dominante, de lo contrario se aplicará un factor de cobertura de 1,96 para un nivel de confianza del 95%.

4. Evaluación de incertidumbre expandida U_E

Finalmente se realiza el cálculo de la incertidumbre expandida con la ayuda de la ecuación (12) a partir del valor obtenido de la incertidumbre combinada y del factor de cobertura para un nivel de confianza del 95%. Los cálculos de incertidumbre se realizan con la ayuda del programa Excel después de exportar los datos del software SmartView y se registra el valor de la incertidumbre expandida para cada imagen individual.

El diagrama de flujo para la estimación de la incertidumbre de medición se encuentra consignado en el **Anexo D**.

4.5 Protocolo De Medición Y Análisis De Resultados Individuales

El análisis estadístico de los resultados se realizó a través de un reporte individual y que se detalla el de una muestra escogida al azar donde se analizaron los datos y los resultados correspondientes a las gráficas obtenidas de los datos tomados y el cálculo de la incertidumbre expandida. En el reporte se da a conocer:

- Los datos del participante, datos de la persona a cargo de las mediciones, datos obtenidos en las mediciones, los datos correspondientes a los equipos utilizados y el diagrama experimental con fotografías y una breve explicación del procedimiento llevado a cabo en las pruebas.
- Tablas de adquisición de datos correspondientes a la prueba de fijación sin parpadeo al inicio y al final del experimento por 30 segundos y los datos correspondientes a medidas de temperatura superficial del ojo izquierdo y el ojo derecho mientras el sujeto realizaba una fijación con parpadeo por 60 segundos; valores de temperatura en cada uno de los intervalos obtenidos a partir del software SmartView de la cámara termográfica y los valores de la incertidumbre expandida de los cálculos de temperatura. Se realiza un análisis de las pendientes de las gráficas de temperatura para evaluar la excitación de la función lagrimal

4.5.1 Análisis De Imágenes Térmicas

Para el análisis individual de las imágenes obtenidas durante la investigación se hizo uso del software SmartView de la cámara donde se analizó para cada imagen correspondiente a la prueba de fijación con parpadeo: córnea, conjuntiva nasal y temporal con el objetivo de observar los cambios de temperatura y el comportamiento de las pendientes respectivas a la caracterización y obtener un promedio de temperatura de la superficie del ojo.

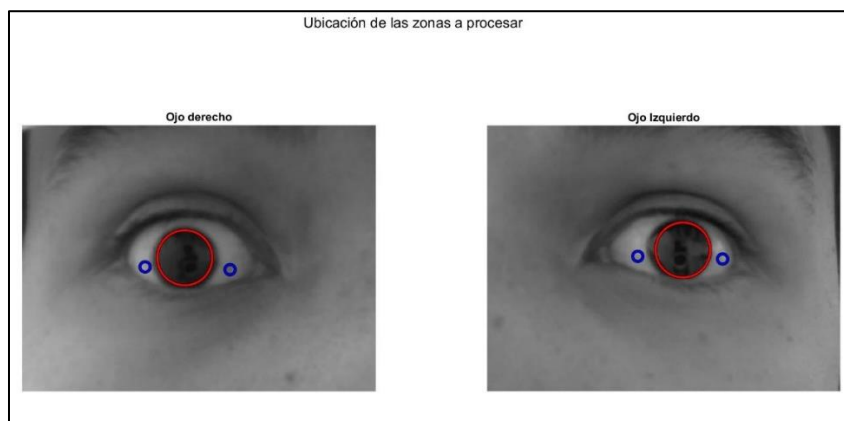


Figura 9: Puntos De Análisis En La Superficie Ocular.
Fuente: Elaboración Propia

4.5.2 Protocolo De Análisis De Resultados General

Para realizar un análisis estadístico de los resultados globales se hace un reporte general donde se analizan los datos. Para el caso se tendrá una sola categoría con sujetos pertenecientes a un rango de edad ($43,2 \pm 14,92$) años. El reporte general consta de:

- Tabla con valores de las pendientes obtenidas con la regresión lineal en el reporte individual correspondientes a la prueba del ojo en la posición fijación con parpadeo al inicio y al final del experimento.

- Conclusiones a partir del análisis de los resultados generales de la muestra poblacional. Los valores de las pendientes se ubicarán en un rango que se establece a partir de los valores máximos y mínimos de las pendientes en este tipo de muestra poblacional.

5 Discusión Y Análisis De Resultados

5.1 Análisis De Las Imágenes Térmicas Obtenidas.

Finalizada la captura de las imágenes termográficas en la superficie ocular donde incluye las tres secciones (Córnea, conjuntiva nasal y temporal), se obtuvieron 8 imágenes termográficas durante la fijación sin parpadeo y 15 imágenes durante la fijación con parpadeo, las imágenes mediante el software SmartView 4.3 propio de la cámara termográfica Fluke Ti32, se exportaron en tipo .jpg y en tipo .txt para posteriormente hacer un análisis en el software Matlab versión para estudiantes con el cual se hizo un procesamiento de las imágenes seleccionando el área circular de la superficie de la córnea y de las conjuntivas nasal y temporales a través de una técnica de reconocimiento de imagen, posteriormente utilizando el archivo de texto correspondiente a los datos de temperatura, se calcula la temperatura promedio de las áreas anteriormente mencionadas, en el **Anexo G** se describe el paso a paso del procesamiento de imágenes mediante el software utilizado.

5.2 Resultados De La Prueba De Fijación Con Parpadeo Y Fijación Sin Parpadeo

La figura 10 muestra las áreas delimitadas en el ojo para el estudio, la córnea, las conjuntivas nasal y temporal de una muestra escogida al azar en la posición fija sin parpadeo para ambos ojos, el procesamiento de la imagen por medio del software Matlab, realiza el cálculo de la temperatura promedio de las zonas estudiadas: 34,8 °C, 34,9 °C y 34,5 °C respectivamente para el ojo derecho y 34,7 °C, 34,9 °C y 34,4 °C para el ojo izquierdo. Cuando la persona está en una posición fija con parpadeo de las mismas áreas del ojo, el software calculo una temperatura promedio de 34,6 °C, 34,8 °C y 34,3 °C para el ojo derecho y 34,5 °C, 34,8 °C y 34,4 °C para el ojo izquierdo; se puede observar cuantitativamente la disminución de temperatura en el centro de la córnea y las conjuntivas debido a la acción del parpadeo durante un minuto para ambos ojos, la tasa de disminución de temperatura corresponde al 0.07 °C para la córnea, 0.06 °C para la conjuntiva nasal y 0.08 °C para la conjuntiva temporal.

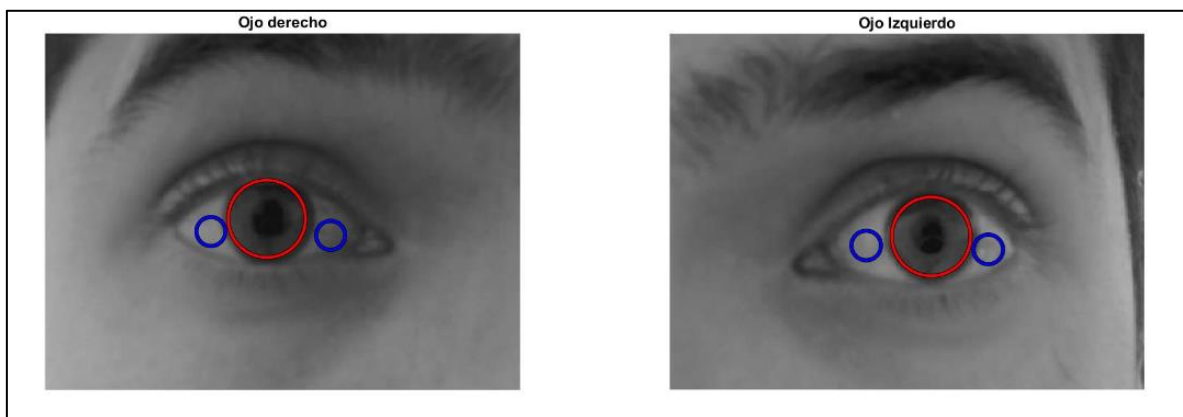


Figura 10: Áreas Delimitadas De Ambos Ojo: Córnea, Conjuntiva Nasal Y Temporal
Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 3 se registra los valores de temperatura promedio de ambos ojos, resultantes del análisis de las imágenes térmicas en las áreas estudiadas (Córnea, conjuntivas nasal y temporal), correspondiente a la prueba de fijación sin parpadeo durante aproximadamente 30 segundos, cada valor de temperatura se registra con su correspondiente incertidumbre expandida.

Valores De Temperatura Promedio							
Prueba	Fijación Sin Parpadeo			Ojo	Derecho		
Área		Córnea		C. Nasal		C. Temporal	
No toma	Tiempo (s)	T (°C)	Ue (°C)	T (°C)	Ue (°C)	T (°C)	Ue (°C)
1	0	34,7	±0,67015249	34,5	±0,66977716	34,5	±0,67131900
2	4	34,7	±0,66976817	34,5	±0,66678965	34,5	±0,66786402
3	8	34,7	±0,66690424	34,4	±0,66784947	34,5	±0,66691962
4	12	34,8	±0,66709787	34,6	±0,66768589	34,4	±0,66598036
5	16	34,8	±0,66708324	34,6	±0,66786017	34,6	±0,66727794
6	20	34,7	±0,66557382	34,5	±0,66774802	34,5	±0,66745900
7	24	34,7	±0,66537422	34,5	±0,66765896	34,5	±0,66731385
8	28	34,6	±0,66632393	34,5	±0,66653861	34,4	±0,66711012
Prueba	Fijación Sin Parpadeo			Ojo	Izquierdo		
Área		Córnea		C. Nasal		C. Temporal	
No toma	Tiempo (s)	T (°C)	Ue (°C)	T (°C)	Ue (°C)	T (°C)	Ue (°C)
1	0	34,0	±0,67718997	33,8	±0,67577702	34,1	±0,68139072
2	4	34,0	±0,67608806	33,8	±0,67394323	34,2	±0,67618337
3	8	34,0	±0,67590990	33,8	±0,67354333	34,0	±0,67668939
4	12	34,1	±0,67589170	33,8	±0,67259102	34,1	±0,67639246
5	16	34,0	±0,67627855	33,8	±0,67335287	34,1	±0,67599290
6	20	34,0	±0,67589170	33,9	±0,67361341	34,1	±0,67465961
7	24	34,1	±0,67552892	33,8	±0,67242941	34,2	±0,67565016
8	28	34,1	±0,67572589	33,7	±0,67286853	34,1	±0,67616564

Tabla 3: Valores De Temperatura Promedio Para Los Termogramas Para Ambos Ojos: Fijación Sin Parpadeo

Fuente: Elaboración Propia

Así mismo en la tabla 4 se consignan los datos correspondientes a posición fija con parpadeo durante un minuto para las mismas áreas.

Valores De Temperatura Promedio							
Prueba	Fijación Con Parpadeo			Ojo	Derecho		
Área		Córnea		C. Nasal		C. Temporal	
No toma	Tiempo (s)	T (°C)	Ue (°C)	T (°C)	Ue (°C)	T (°C)	Ue (°C)
1	0	34,7	±0,67449526	34,9	±0,66875429	34,7	±0,66850866
2	4	34,7	±0,67241869	34,9	±0,66830288	34,6	±0,66625352
3	8	34,8	±0,67016732	34,8	±0,66847197	34,6	±0,66559146
4	12	34,7	±0,66959582	34,9	±0,66809612	34,6	±0,66558727
5	16	34,7	±0,66957137	34,8	±0,66810683	34,4	±0,66557230
6	20	34,7	±0,66864790	34,8	±0,66811239	34,4	±0,66560310
7	24	34,7	±0,66845282	34,9	±0,66696946	34,4	±0,66561499

8	28	34,7	$\pm 0,66808598$	34,8	$\pm 0,66608060$	34,5	$\pm 0,66505584$
9	32	34,7	$\pm 0,66824944$	34,8	$\pm 0,66550919$	34,4	$\pm 0,66494376$
10	36	34,8	$\pm 0,66826232$	34,7	$\pm 0,66422095$	34,5	$\pm 0,66494376$
11	40	34,8	$\pm 0,66806309$	34,8	$\pm 0,66345912$	34,6	$\pm 0,66480714$
12	44	34,9	$\pm 0,66842706$	34,9	$\pm 0,66237556$	34,6	$\pm 0,66444878$
13	48	34,8	$\pm 0,67449526$	34,9	$\pm 0,66875429$	34,7	$\pm 0,66850866$
14	52	34,8	$\pm 0,67241869$	34,8	$\pm 0,66830288$	34,8	$\pm 0,66625352$
15	56	34,7	$\pm 0,67016732$	34,8	$\pm 0,66847197$	34,8	$\pm 0,66559146$
Prueba	Fijación Con Parpadeo			Ojo	Izquierdo		
Área	Córnea			C. Nasal		C. Temporal	
No toma	Tiempo (s)	T (°C)	Ue (°C)	T (°C)	Ue (°C)	T (°C)	Ue (°C)
1	0	34,1	$\pm 0,66369860$	33,8	$\pm 0,68024264$	34,3	$\pm 0,68483106$
2	4	34,1	$\pm 0,66346318$	33,8	$\pm 0,67989404$	34,3	$\pm 0,68332374$
3	8	34,2	$\pm 0,66301731$	33,8	$\pm 0,67912607$	34,4	$\pm 0,68293697$
4	12	34,2	$\pm 0,66338148$	33,9	$\pm 0,67977558$	34,5	$\pm 0,68275824$
5	16	34,3	$\pm 0,66287819$	33,8	$\pm 0,68008453$	34,4	$\pm 0,68276445$
6	20	34,4	$\pm 0,66262000$	33,8	$\pm 0,67972966$	34,5	$\pm 0,68238346$
7	24	34,4	$\pm 0,66277840$	33,8	$\pm 0,68011064$	34,4	$\pm 0,68257395$
8	28	34,3	$\pm 0,66262000$	33,9	$\pm 0,67994209$	34,3	$\pm 0,68257395$
9	32	34,3	$\pm 0,66206549$	33,8	$\pm 0,67976737$	34,4	$\pm 0,68240334$
10	36	34,4	$\pm 0,65986821$	33,8	$\pm 0,67979269$	34,4	$\pm 0,68220601$
11	40	34,1	$\pm 0,66005855$	33,7	$\pm 0,67996606$	34,5	$\pm 0,68220601$
12	44	34,2	$\pm 0,65845878$	33,8	$\pm 0,67955358$	34,6	$\pm 0,68202237$
13	48	34,2	$\pm 0,66369860$	33,8	$\pm 0,68024264$	34,6	$\pm 0,68483106$
14	52	34,1	$\pm 0,66346318$	33,9	$\pm 0,67989404$	34,5	$\pm 0,68332374$
15	56	34,1	$\pm 0,66301731$	33,8	$\pm 0,67912607$	34,5	$\pm 0,68293697$

Tabla 4: Valores De Temperatura Promedio Para Los Termogramas Para Ambos Ojos: Fijación Con Parpadeo
Fuente: Elaboración Propia

La figura 11 corresponden a las regresiones lineales pertenecientes a la prueba de fijación sin parpadeo para las áreas estudiadas con sus respectivas regresiones lineales pertenecientes a la prueba de fijación con parpadeo para las áreas estudiadas. Se puede notar que en las gráficas de Temperatura promedio vs Tiempo, las pendientes tienen tendencia negativa para las tres zonas estudiadas para el ojo derecho e izquierdo lo cual indica que la temperatura superficial del ojo descendió debido al parpadeo constante de la persona durante un minuto. Para la posición fija sin parpadeo se observa una tendencia positiva de los resultados obtenidos en las pendientes para estas zonas para ambos ojos, esto indica un aumento de temperatura de ambos ojos durante 30 segundos. Este aumento puede resultar al no parpadeo normal de la persona y la lubricación de sus ojos es afectada e impide su normal funcionamiento.

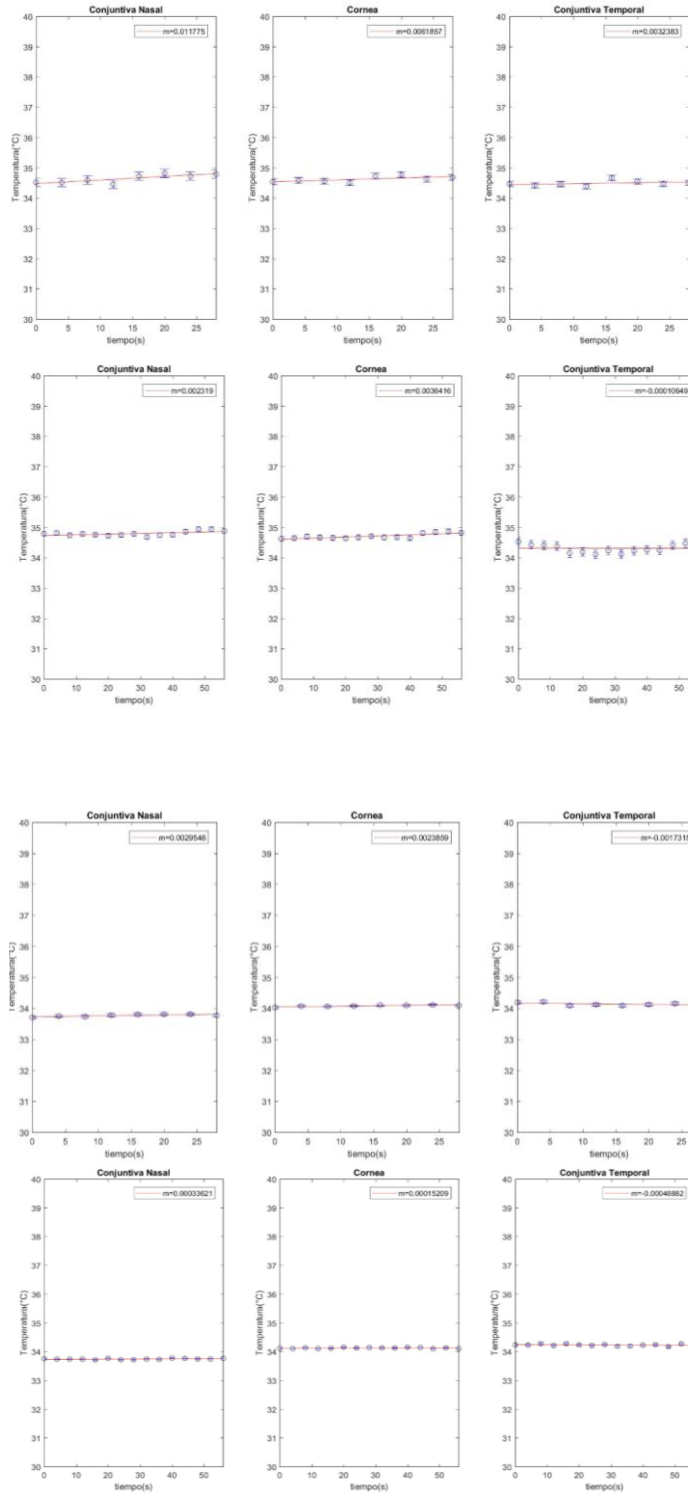


Figura 11: Regresión Lineal De La Caracterización De La Temperatura.
Elaboración: Fuente Propia.

5.3 Reporte De Medidas De Temperatura

Para realizar una observación detallada de cada persona que participo en la prueba, se realizó un reporte individual donde se registran los valores de temperatura con su correspondiente incertidumbre y pendientes para cada una de las 3 áreas que componen la prueba (Córnea, conjuntivas nasal y temporal), el registro de los valores de humedad relativa y temperatura ambiente durante la prueba. Además, se muestran los gráficos de Temperatura promedio vs Tiempo correspondiente al análisis de perfil circular junto con la regresión lineal. Finalmente se muestran las observaciones generales y conclusiones donde se discute el valor de las pendientes, gráficos y las variaciones de temperatura en el tiempo para las 3 áreas estudiadas.

5.4 Reporte Individual De Medidas De Temperatura

Para realizar el reporte individual se tiene en cuenta: un encabezado, datos generales, datos responsables del reporte, equipos utilizados, diagrama experimental, medidas de temperatura y cálculo de incertidumbre, Análisis de datos, Conclusiones y firmas. Este reporte debe ir totalmente lleno, con información valida y los gráficos correspondientes. El reporte se realiza a un paciente escogido al azar, entre una población total de 40 personas incluyendo sanos y enfermos.

A continuación, se presenta un reporte individual escogido al azar, correspondiente al estudiante Daniel Andrés Vanegas, quien pertenece a la población de la UTP, quien manifestó no haber sido diagnosticado con síndrome de ojo seco. Se realizo el protocolo de medición y se obtuvieron los siguientes valores:



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
REPORTE INDIVIDUAL DE MEDIDAS DE
TEMPERATURA

Versión: 02

Página:01

Fecha: 16/08/2018

Reporte No.01

DATOS GENERALES

Responsable del reporte:

Grupo de Electrofisiología – Facultad de Ciencias Básicas

Universidad Tecnológica de Pereira

Ciudad: Pereira

DATOS RESPONSABLE DEL REPORTE

Nombre: Dayan Steban Giraldo Santamaria

Cédula de Ciudadanía: 1112785076 de Cartago (Valle)

Cargo: Estudiante De Ingeniera Física

Nombre: Iván Daniel Salazar Alarcón

Cédula de Ciudadanía: 1088326507 de Pereira (Risaralda)

Cargo: Estudiante De Ingeniera Física

DATOS PACIENTE

Nombre: Daniel Andrés Vanegas

Cédula de Ciudadanía: 1088027014 de Pereira (Risaralda)



Edad: 22 años

Teléfono: 3117828559

Sexo:

☒ M

☐ F

		UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA REPORTE INDIVIDUAL DE MEDIDAS DE TEMPERATURA			
Versión: 02	Página: 02	Fecha: 16/08/2018		Reporte No.01	
DATOS PRELIMINARES					
Nombre responsable de la medición		Dayan Steban Giraldo Santamaria Iván Daniel Salazar Alarcón			
Ubicación toma de medidas		Laboratorio de Electrofisiología. Bloque 1B 030			
Fecha toma de medidas		DD	16	MM	08
				AAAA	2018
Hora de inicio (hh:mm:ss)	08:50:00	Hora de finalización (hh:mm:ss)		09:05:00	
EQUIPO UTILIZADO					
TERMOHIGRÓMETRO					
Marca	Hygro	Temperatura Ambiente (°C)		Humedad relativa (%)	
Modelo	HTC-303A	22,8 ± 0,5		67 ± 3	
Número de serie	161175				
CÁMARA TERMOGRÁFICA Fluke Ti32					
Marca	Fluke	Observaciones: <u>La cámara termográfica Ti32 es un dispositivo que detecta la energía infrarroja y la convierte en una señal eléctrica para luego ser procesada en una imagen térmica. El rango de medición comienza en -20°C asciende a 600 °C.</u>			
Modelo	Thermal Imager Ti32				
Número de serie	13010099				
DIAGRAMA EXPERIMENTAL					
		Comentarios: <u>Antes de iniciar las pruebas se mide la humedad relativa y la temperatura ambiente de la habitación con el termohigrómetro. Para su comodidad el paciente apoya su mentón sobre el soporte para cabezas, con el fin de evitar el movimiento y conservar exactamente la distancia de 7,5 cm entre el ojo humano y la lente de la cámara termográfica. Las imágenes se toman inicialmente en el ojo derecho y luego en el ojo izquierdo. El paciente está durante 5 minutos con la posición primaria de mirada, la cual consiste en una posición de mirada al frente con el parpadeo normal, luego tiene los ojos en reposo; es decir, cerrados durante 10 segundos; posteriormente el sujeto permanece con los ojos en posición de fijación, sin parpadeo durante 30 segundos, en este tiempo se hacen mediciones de la temperatura del centro de la córnea en intervalos de 4 segundos, finalmente los ojos están en posición de fijación con parpadeo normal y se hacen tomas de temperatura, durante otros 60 segundos, en intervalos de 4 segundos.</u>			



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
REPORTE INDIVIDUAL DE MEDIDAS DE
TEMPERATURA

Versión: 02

Página:03

Fecha: 16/08/2018

Reporte No.01

MEDIDAS DE TEMPERATURA Y CALCULO DE INCERTIDUMBRE

Posición de fijación sin parpadeo (Córnea)

Ojo Derecho

Ojo Izquierdo

No. Datos	Hora (hh:mm:ss)	Tiempo (s)	Temperatura (°C)	Incertidumbre U_E (°C) *	Hora (hh:mm:ss)	Tiempo (s)	Temperatura (°C)	Incertidumbre U_E (°C) *
1	8:50:00	0	34,0	$\pm 0,66173547$	8:53:00	0	33,8	$\pm 0,68369430$
2	8:50:04	4	33,9	$\pm 0,65906647$	8:53:04	4	33,7	$\pm 0,66048341$
3	8:50:08	8	33,9	$\pm 0,65469032$	8:53:08	8	33,8	$\pm 0,67781812$
4	8:50:12	12	33,8	$\pm 0,65430019$	8:53:12	12	33,8	$\pm 0,65840153$
5	8:50:16	16	33,8	$\pm 0,65391916$	8:53:16	16	33,8	$\pm 0,65817294$
6	8:50:20	20	33,8	$\pm 0,65220452$	8:53:20	20	33,8	$\pm 0,65741679$
7	8:50:24	24	33,9	$\pm 0,65201241$	8:53:24	24	33,9	$\pm 0,65704186$
8	8:50:28	28	33,8	$\pm 0,65201241$	8:53:28	28	33,8	$\pm 0,67647840$

Posición de fijación con parpadeo (Córnea)

Ojo Derecho

Ojo Izquierdo

No. Datos	Hora (hh:mm:ss)	Tiempo (s)	Temperatura (°C)	Incertidumbre U_E (°C) *	Hora (hh:mm:ss)	Tiempo (s)	Temperatura (°C)	Incertidumbre U_E (°C) *
1	8:50:32	32	33,7	$\pm 0,67682914$	8:53:32	32	33,8	$\pm 0,65957597$
2	8:50:36	36	33,8	$\pm 0,67701430$	8:53:36	36	33,8	$\pm 0,65996450$
3	8:50:40	40	33,8	$\pm 0,67464213$	8:53:40	40	33,8	$\pm 0,65920260$
4	8:50:44	44	33,9	$\pm 0,67576004$	8:53:44	44	33,8	$\pm 0,65940084$
5	8:50:48	48	33,9	$\pm 0,67557764$	8:53:48	48	33,8	$\pm 0,65863895$
6	8:50:52	52	33,9	$\pm 0,67579374$	8:53:52	52	33,8	$\pm 0,65959927$
7	8:50:56	56	33,9	$\pm 0,67570982$	8:53:56	56	33,8	$\pm 0,65883738$
8	8:51:00	60	33,9	$\pm 0,67587128$	8:54:00	60	33,8	$\pm 0,65807550$
9	8:51:04	64	33,9	$\pm 0,67643278$	8:54:04	64	33,8	$\pm 0,65732179$
10	8:51:08	68	33,9	$\pm 0,67568078$	8:54:08	68	33,8	$\pm 0,65750409$
11	8:51:09	72	33,9	$\pm 0,67622498$	8:54:09	72	33,8	$\pm 0,65598851$
12	8:51:12	76	33,9	$\pm 0,67584794$	8:54:12	76	33,8	$\pm 0,65535685$
13	8:51:16	80	33,9	$\pm 0,67682914$	8:54:16	80	33,7	$\pm 0,65957597$
14	8:51:20	84	34,0	$\pm 0,67701430$	8:54:20	84	33,8	$\pm 0,65996450$
15	8:51:24	88	34,0	$\pm 0,67464213$	8:54:24	88	33,8	$\pm 0,65920260$

*Los valores de incertidumbre se reportan con todas las cifras significativas que se obtuvieron luego de realizar el procedimiento para calcular la incertidumbre expandida.



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
REPORTE INDIVIDUAL DE MEDIDAS DE TEMPERATURA

Versión: 02

Página:04

Fecha: 16/08/2018

Reporte No.01

MEDIDAS DE TEMPERATURA Y CALCULO DE INCERTIDUMBRE

Posición de fijación sin parpadeo (Conjuntiva Nasal)

Ojo Derecho

Ojo Izquierdo

No. Datos	Hora (hh:mm:ss)	Tiempo (s)	Temperatura (°C)	Incertidumbre U_E (°C) *	Hora (hh:mm:ss)	Tiempo (s)	Temperatura (°C)	Incertidumbre U_E (°C) *
1	8:50:00	0	34,8	$\pm 0,65891425$	8:53:00	0	33,6	$\pm 0,66186747$
2	8:50:04	4	34,8	$\pm 0,65797999$	8:53:04	4	33,7	$\pm 0,66238190$
3	8:50:08	8	34,8	$\pm 0,65643352$	8:53:08	8	33,6	$\pm 0,65974199$
4	8:50:12	12	34,7	$\pm 0,67645837$	8:53:12	12	33,7	$\pm 0,66036847$
5	8:50:16	16	34,7	$\pm 0,65762525$	8:53:16	16	33,7	$\pm 0,66254878$
6	8:50:20	20	34,7	$\pm 0,65649992$	8:53:20	20	33,7	$\pm 0,66179239$
7	8:50:24	24	34,8	$\pm 0,65670290$	8:53:24	24	33,7	$\pm 0,66059487$
8	8:50:28	28	34,7	$\pm 0,65656098$	8:53:28	28	33,7	$\pm 0,66142944$

Posición de fijación con parpadeo (Conjuntiva Nasal)

Ojo Derecho

Ojo Izquierdo

No. Datos	Hora (hh:mm:ss)	Tiempo (s)	Temperatura (°C)	Incertidumbre U_E (°C) *	Hora (hh:mm:ss)	Tiempo (s)	Temperatura (°C)	Incertidumbre U_E (°C) *
1	8:50:32	32	34,7	$\pm 0,68023828$	8:53:32	32	33,7	$\pm 0,65616281$
2	8:50:36	36	34,7	$\pm 0,67814734$	8:53:36	36	33,6	$\pm 0,65479934$
3	8:50:40	40	34,9	$\pm 0,67796172$	8:53:40	40	33,7	$\pm 0,65369469$
4	8:50:44	44	34,8	$\pm 0,67758582$	8:53:44	44	33,6	$\pm 0,65316627$
5	8:50:48	48	34,8	$\pm 0,67643767$	8:53:48	48	33,6	$\pm 0,65348836$
6	8:50:52	52	34,8	$\pm 0,67684051$	8:53:52	52	33,7	$\pm 0,65329788$
7	8:50:56	56	34,9	$\pm 0,67647180$	8:53:56	56	33,6	$\pm 0,65214737$
8	8:51:00	60	34,9	$\pm 0,67607852$	8:54:00	60	33,6	$\pm 0,65268335$
9	8:51:04	64	34,9	$\pm 0,67626321$	8:54:04	64	33,6	$\pm 0,65275057$
10	8:51:08	68	34,9	$\pm 0,67647180$	8:54:08	68	33,6	$\pm 0,65213990$
11	8:51:09	72	34,9	$\pm 0,67572303$	8:54:09	72	33,7	$\pm 0,65249286$
12	8:51:12	76	34,9	$\pm 0,67611812$	8:54:12	76	33,6	$\pm 0,64961647$
13	8:51:16	80	34,9	$\pm 0,68023828$	8:54:16	80	33,6	$\pm 0,65616281$
14	8:51:20	84	34,9	$\pm 0,67814734$	8:54:20	84	33,6	$\pm 0,65479934$
15	8:51:24	88	34,9	$\pm 0,67796172$	8:54:24	88	33,7	$\pm 0,65369469$

*Los valores de incertidumbre se reportan con todas las cifras significativas que se obtuvieron luego de realizar el procedimiento para calcular la incertidumbre expandida.



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
REPORTE INDIVIDUAL DE MEDIDAS DE TEMPERATURA

Versión: 02

Página:05

Fecha: 16/08/2018

Reporte No.01

MEDIDAS DE TEMPERATURA Y CALCULO DE INCERTIDUMBRE

Posición de fijación sin parpadeo (Conjuntiva Temporal)

Ojo Derecho

Ojo Izquierdo

No. Datos	Hora (hh:mm:ss)	Tiempo (s)	Temperatura (°C)	Incertidumbre U_E (°C) *	Hora (hh:mm:ss)	Tiempo (s)	Temperatura (°C)	Incertidumbre U_E (°C) *
1	8:50:00	0	33,2	$\pm 0,65249368$	8:53:00	0	33,1	$\pm 0,65666713$
2	8:50:04	4	33,2	$\pm 0,65285740$	8:53:04	4	33,1	$\pm 0,65763958$
3	8:50:08	8	33,3	$\pm 0,65114859$	8:53:08	8	33,1	$\pm 0,65706125$
4	8:50:12	12	33,3	$\pm 0,65134484$	8:53:12	12	33,1	$\pm 0,65704186$
5	8:50:16	16	33,3	$\pm 0,64867222$	8:53:16	16	33,1	$\pm 0,66055894$
6	8:50:20	20	33,5	$\pm 0,64901249$	8:53:20	20	33,2	$\pm 0,66162635$
7	8:50:24	24	33,5	$\pm 0,64675085$	8:53:24	24	33,2	$\pm 0,66107538$
8	8:50:28	28	33,4	$\pm 0,64634106$	8:53:28	28	33,2	$\pm 0,66081868$

Posición de fijación con parpadeo (Conjuntiva Temporal)

Ojo Derecho

Ojo Izquierdo

No. Datos	Hora (hh:mm:ss)	Tiempo (s)	Temperatura (°C)	Incertidumbre U_E (°C) *	Hora (hh:mm:ss)	Tiempo (s)	Temperatura (°C)	Incertidumbre U_E (°C) *
1	8:50:32	32	33,4	$\pm 0,65184128$	8:53:32	32	33,2	$\pm 0,67587125$
2	8:50:36	36	33,5	$\pm 0,65184363$	8:53:36	36	33,2	$\pm 0,67377571$
3	8:50:40	40	33,7	$\pm 0,65108159$	8:53:40	40	33,2	$\pm 0,67394311$
4	8:50:44	44	33,6	$\pm 0,65240622$	8:53:44	44	33,2	$\pm 0,67354452$
5	8:50:48	48	33,6	$\pm 0,65012905$	8:53:48	48	33,2	$\pm 0,67260954$
6	8:50:52	52	33,5	$\pm 0,64935597$	8:53:52	52	33,2	$\pm 0,67262844$
7	8:50:56	56	33,5	$\pm 0,64821495$	8:53:56	56	33,2	$\pm 0,67225608$
8	8:51:00	60	33,6	$\pm 0,64705460$	8:54:00	60	33,2	$\pm 0,67188434$
9	8:51:04	64	33,7	$\pm 0,64694965$	8:54:04	64	33,1	$\pm 0,67226534$
10	8:51:08	68	33,8	$\pm 0,64535728$	8:54:08	68	33,1	$\pm 0,67283214$
11	8:51:09	72	33,6	$\pm 0,64552915$	8:54:09	72	33,2	$\pm 0,67265622$
12	8:51:12	76	33,7	$\pm 0,64514571$	8:54:12	76	33,2	$\pm 0,67321784$
13	8:51:16	80	33,7	$\pm 0,64935597$	8:54:16	80	33,1	$\pm 0,67587125$
14	8:51:20	84	33,8	$\pm 0,64821495$	8:54:20	84	33,1	$\pm 0,67377571$
15	8:51:24	88	33,8	$\pm 0,64705460$	8:54:24	88	33,2	$\pm 0,67394311$

*Los valores de incertidumbre se reportan con todas las cifras significativas que se obtuvieron luego de realizar el procedimiento para calcular la incertidumbre expandida.



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE
PEREIRA**
**REPORTE INDIVIDUAL DE MEDIDAS DE
TEMPERATURA**

Versión: 02

Página:06

Fecha: 16/08/2018

Reporte No.01

ANÁLISIS DE DATOS

GRÁFICA POSICIÓN DE FIJACIÓN (SIN PARPADEO)

Ojo derecho

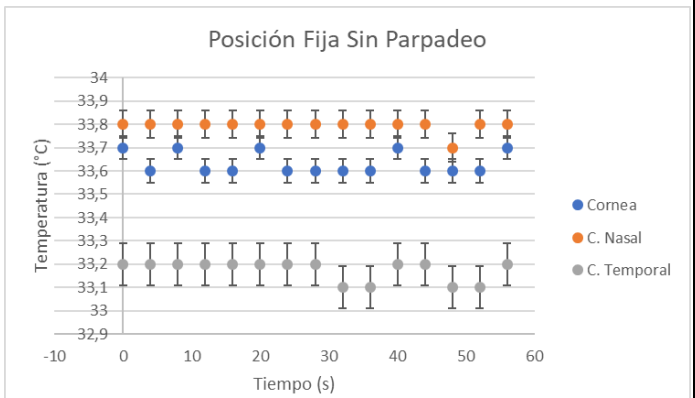
Ojo izquierdo



GRÁFICA POSICIÓN DE FIJACIÓN (CON PARPADEO)

Ojo derecho

Ojo izquierdo





UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA REPORTE INDIVIDUAL DE MEDIDAS DE TEMPERATURA

Versión: 02

Página:07

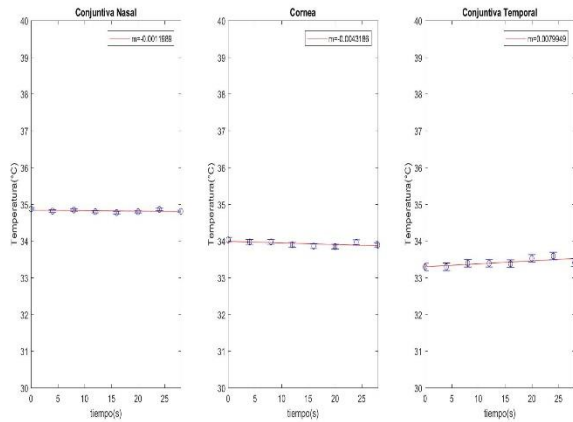
Fecha: 16/08/2018

Reporte No.01

ANÁLISIS POR REGRESIÓN LINEAL (Posición de fijación sin parpadeo)

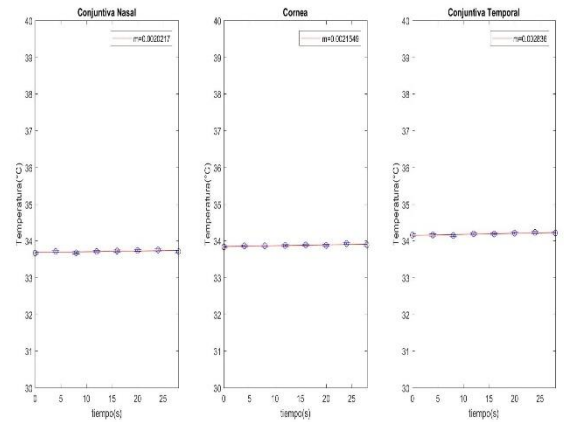
Ojo derecho

Regresión lineal del ojoDerechoSinParpadeo



Ojo izquierdo

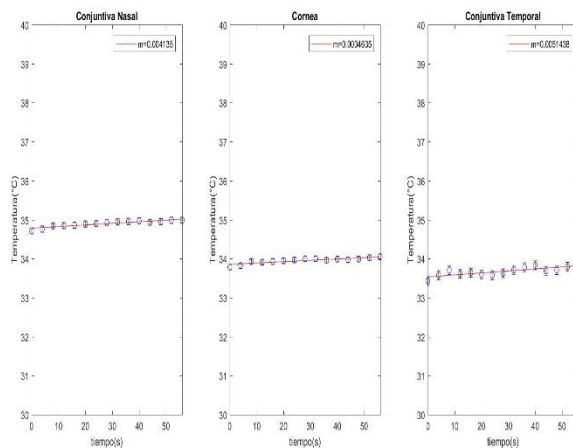
Regresión lineal del ojoIzquierdoSinParpadeo



ANÁLISIS POR REGRESIÓN LINEAL (Posición de fijación Con parpadeo)

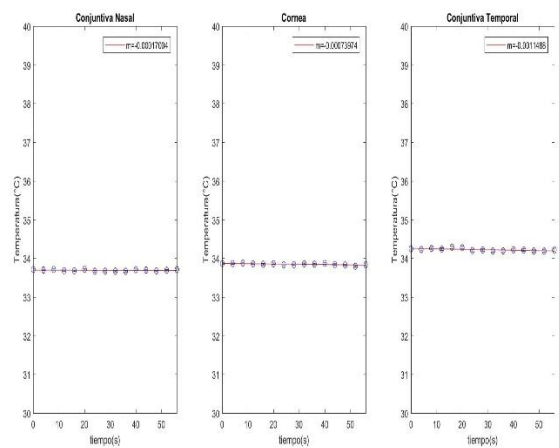
Ojo derecho

Regresión lineal del ojoDerechoConParpadeo



Ojo izquierdo

Regresión lineal del ojoIzquierdoConParpadeo





UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE
PEREIRA
REPORTE INDIVIDUAL DE MEDIDAS DE
TEMPERATURA

Versión: 02

Página:08

Fecha: 16/08/2018

Reporte No.01

ANÁLISIS DE DATOS

GRADO DE RESEQUEDAD

(Valor absoluto de las pendientes obtenidas a partir de la regresión lineal en la posición de fijación con parpadeo) [$^{\circ}\text{C/s}$]

Posición Fija Sin Parpadeo

Zona	Ojo Derecho	Ojo Izquierdo
Córnea	0,0034635	0,0043186
Conjuntiva Nasal	0,0041350	0,0011989
Conjuntiva Temporal	0,0051438	0,0079949

Posición Fija Con Parpadeo

Zona	Ojo Derecho	Ojo Izquierdo
Córnea	0,0034635	0,00073974
Conjuntiva Nasal	0,0041350	0,00017004
Conjuntiva Temporal	0,0051438	0,0011488

ANÁLISIS GRÁFICAS

Analizando la gráfica de la posición de fijación sin el parpadeo del ojo derecho se nota que los valores de temperatura son estables de en las tres zonas estudiadas: Córnea, Conjuntiva Nasal y Temporal, se aprecia que la zona nasal es mayor a la córnea debido a tener una mayor irrigación sanguínea, mientras que por el contrario los valores de la conjuntiva temporal son menores. En el ojo izquierdo sucede lo mismo, en las zonas estudiadas la temperatura se mantiene estable en los 30 segundos donde la persona no realiza parpadeo. En las gráficas de posición de fijación con el parpadeo normal los valores de temperatura decrecen debido a la excitación de la función lagrimal que produce lagrimas para lubricar la superficie ocular. Después de este análisis es importante destacar que la temperatura ocular de esta paciente decrece mucho más rápido en la posición de fijación con parpadeo tanto para el ojo derecho como para el ojo izquierdo, ya que el ΔT en la posición de fijación con parpadeo tanto en el ojo derecho como en el izquierdo fue de 0,19; mientras que en la posición de fijación sin parpadeo para el ojo derecho fue de 0,31 y para el ojo izquierdo fue de 0,24. Como los valores de la temperatura ocular presentan diferencias en la posición de fijación con parpadeo entre los dos tipos pacientes de la muestra poblacional se hace un análisis de esta posición por medio de una regresión lineal. Para obtener las pendientes para cada caso.



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE
PEREIRA**
**REPORTE INDIVIDUAL DE MEDIDAS DE
TEMPERATURA**

Versión: 02

Página:09

Fecha: 16/08/2018

Reporte No.01

CONCLUSIONES

Analizando la gráfica determinante del grado de resequead de la superficie ocular derecha el valor absoluto de la pendiente de la recta de mediciones de temperatura es de $0,0034^{\circ}\text{C/s}$, y para la gráfica determinante del grado de resequead de la superficie ocular izquierda el valor absoluto de la pendiente de la recta de mediciones de temperatura es de $0,0073^{\circ}\text{C/s}$. Después de hacer el análisis global de la muestra poblacional se determinó una escala de valores de pendientes donde los valores obtenidos de las pendientes de las rectas de mediciones de temperatura de la superficie ocular derecha e izquierda de esta paciente están ubicados en el rango de pacientes sanos. Ahora, analizando la encuesta epidemiológica la paciente reporto no haber sido diagnosticada del síndrome del ojo seco y los síntomas que registro en la encuesta epidemiológica fueron en su mayoría negativos. Lo anterior corrobora la hipótesis de que la paciente no padece del síndrome del ojo seco. Por el anterior análisis se concluye que la paciente se puede considerar sano.

Realizó:

Dayan Steban Giraldo
Estudiante
Ingeniería Física

Aprobó:

Iván Daniel Salazar Alarcón
Estudiante
Ingeniería Física

Luis Enrique Llamosa
Director Grupo de Electrofisiología
Facultad de Ciencias Básicas

5.5 Reporte General De Medidas.

El análisis a los datos de temperatura para cada persona en las diferentes etapas del protocolo de medición, se presenta la tabla 5 con los valores de las pendientes para ambos ojos.

No. Muestra	Valores De Pendientes					
	Ojo Derecho			Ojo izquierdo		
	C. Nasal	Córnea	C. Temporal	C. Nasal	Córnea	C. Temporal
1	0,0067392	0,0003667	0,0002727	0,0005140	0,0027109	0,0023934
2	0,0017152	0,0060448	0,0134700	0,0006603	0,0016399	0,0013669
3	0,0026112	0,0052978	0,0012088	0,0066254	0,0064205	0,0032280
4	0,0025573	0,0042850	0,0061949	0,0020674	0,0061184	0,0023057
5	0,0015909	0,0027590	0,0008516	0,1031400	0,0096303	0,0061542
6	0,0023190	0,0036416	0,0001065	0,0003362	0,0001521	0,0004888
7	0,0069539	0,0060419	0,0063633	0,0128500	0,0012310	0,0042789
8	0,0054540	0,0042938	0,0413520	0,0001932	0,0138540	0,0063635
9	0,0061193	0,0069403	0,0093132	0,0012663	0,0049350	0,0024484
10	0,0070928	0,0020505	0,0103140	0,0061416	0,0050006	0,0046802
11	0,0089757	0,0012905	0,0220790	0,0126290	0,0002084	0,0067183
12	0,0354790	0,0035458	0,0056499	0,0052981	0,0052936	0,0045467
13	0,0051707	0,0022204	0,0188230	0,0161320	0,0073705	0,0082435
14	0,0147560	0,0055384	0,0139120	0,0171630	0,0008770	0,1234800
15	0,0051005	0,0007200	0,0105790	0,0125020	0,0032870	0,0012017
18	0,0019702	0,0051417	0,0048500	0,0034082	0,0025533	0,0016101
17	0,0014060	0,0041013	0,0042114	0,0066342	0,0020664	0,0040166
18	0,0042775	0,0072781	0,0072007	0,0005948	0,0133380	0,0072518
19	0,0098084	0,0107220	0,0051704	0,0089400	0,0029739	0,0009616
20	0,0036779	0,0018173	0,0019063	0,0013694	0,0030050	0,0023869
21	0,0021972	0,0303660	0,0031810	0,0021738	0,0051401	0,0066178
22	0,0024462	0,0000497	0,0051910	0,0056152	0,0017630	0,0035079
23	0,0016298	0,0031698	0,0049439	0,0041925	0,0036510	0,0067020
24	0,0050935	0,0071865	0,0627500	0,0002859	0,0018820	0,0018853
25	0,0003294	0,0050998	0,0034054	0,0012626	0,0052570	0,0034882
26	0,0113820	0,0156200	0,0077558	0,0043364	0,0079072	0,0047567
27	0,0045825	0,0020283	0,0901630	0,0031235	0,0119210	0,0044935
28	0,0034853	0,0055889	0,0032769	0,0045040	0,0053182	0,0015930
29	0,0078635	0,0057631	0,0566450	0,0004721	0,0050040	0,0116620
30	0,0050545	0,0045484	0,0009559	0,0036679	0,0129500	0,0124040
31	0,0046614	0,0110670	0,0325890	0,0876620	0,0056337	0,0019184
32	0,0082695	0,0040387	0,0130030	0,0000838	0,0080037	0,0118180
33	0,0018952	0,0050082	0,0000372	0,0097603	0,0035807	0,0018102
34	0,0061041	0,0047859	0,0226580	0,0090985	0,0087811	0,0037652
35	0,0048385	0,0091643	0,0026223	0,0052127	0,0029541	0,0013427
36	0,0011271	0,0030811	0,0108390	0,0169987	0,0008976	0,0140980
37	0,0161130	0,0030165	0,0002899	0,0079435	0,0059868	0,0039485
38	0,0101400	0,0169800	0,0041139	0,0312740	0,0010692	0,0067220
39	0,0022724	0,0065279	0,0630420	0,0212680	0,0034231	0,0049458
40	0,0059963	0,0506280	0,0016580	0,0599630	0,0050628	0,0016580

Tabla 5: Pendientes De Cada Muestra En Las Zonas Estudiadas
Fuente: Elaboración Propia.

Se realizó el análisis estadístico donde se tomaron los datos de pendientes correspondientes a la variación de temperatura experimentada en la posición de fijación con parpadeo en la córnea, conjuntiva nasal y temporal; se realizó una prueba de normalidad de los datos (**Anexo H**) y con base en los resultados de la prueba de normalidad de los mismos se decidió realizar la prueba de Wilcoxon para una muestra con distribución no normal. La prueba de Wilcoxon es una prueba no paramétrica para comparar la mediana de una muestra con una mediana teórica y determinar si existen diferencias entre ellas. Se utiliza para comparar las medianas y determinar que la diferencia no se deba al azar (diferencia estadísticamente significativa), para una muestra que se compara con un valor teórico. Esta prueba se hizo por medio de un análisis de datos aplicando las respectivas formulas del método, inicialmente se define una mediana teórica, para el caso la definimos como cero, es decir se supone que con el ejercicio del parpadeo durante 1 minuto no hay variación de la temperatura en la superficie ocular sana de los sujetos participantes del estudio. Luego se establecieron las siguientes hipótesis:

H_{NULA} = La mediana de la variación de la temperatura durante el ejercicio del parpadeo es igual a la mediana teórica es decir igual a cero.

$H_{ALTERNA}$ = La mediana de la variación de la temperatura durante el ejercicio del parpadeo es significativamente diferente a la mediana teórica es decir diferente a cero.

Por lo tanto, para saber cuál hipótesis aceptar se deben interpretar los resultados a partir de los siguientes parámetros:

Nivel de significación: Para todo valor de probabilidad igual o menor que 0,05, se acepta $H_{ALTERNA}$ y se rechaza H_{NULA} .

Zona de rechazo: Para todo valor de probabilidad mayor que 0,05, se acepta H_{NULA} y se rechaza $H_{ALTERNA}$. Es decir:

Con $p < 0,05$ se rechaza H_{NULA} .

Con $p > 0,05$ se rechaza $H_{ALTERNA}$.

Para este caso estudio en la tabla 6 se detallan el nivel de confianza para los siguientes casos: Promedio de ojo derecho e izquierdo, ojo izquierdo, ojo derecho para ambos grupos (sanos y enfermos) en la prueba de mirada con fijación con parpadeo normal en las tres zonas estudiadas: Nasal, conjuntiva nasal y temporal. También se analizó por clasificación de género (hombre y mujer). En todos los casos el nivel de confianza es menor de 0.05 por lo tanto se acepta $H_{ALTERNA}$ y se rechaza H_{NULA} . Por lo tanto, se determinó que la mediana de la población es significativamente diferente con la mediana teórica, lo que conduce a afirmar que, con el ejercicio del parpadeo durante un minuto, la superficie ocular experimenta una variación significativa de temperatura, confirmando que el parpadeo estimula la función lagrimal e influye en la variación de temperatura de la superficie corneal. En el caso de género no es significativamente diferente con la mediana teórica por lo tanto el género no influye en el diagnóstico de la enfermedad.

Algo muy importante a tener en cuenta, es que la temperatura de la superficie ocular varía dependiendo de la temperatura ambiente y la humedad relativa; concluyendo que las condiciones ambientales pueden alterar la temperatura de la superficie ocular de los sujetos por lo que la luminosidad, temperatura y humedad relativa del recinto deben ser controladas continuamente; tal como lo afirma González M. en un trabajo realizado en 2008 en el cual se evaluaron los cambios en la superficie ocular derivados de la exposición a los distintos ambientes, en el cual se concluye que la baja humedad del medio ambiente, afecta negativamente a la superficie ocular”[35]

Análisis estadístico Comparación entre persona sanas y con SOS			
Caso	z	p	Diferencia Estadísticamente significativa
1: Promedio de ambos ojos Córnea	4,431	1,45xE-10	Si
1: Promedio de ambos ojos Conjuntiva Nasal	2,338	0,0022285	Si
1: Promedio de ambos ojos Conjuntiva Temporal	4,455	0,025412	Si
2: Ojo Derecho Córnea	5,318	1,04E-07	Si
2: Ojo Derecho Conjuntiva Nasal	3,234	0,0012207	Si
2: Ojo Derecho Conjuntiva Temporal	2,378	0,0173720	Si
3: Ojo Izquierdo Córnea	4,035	0,0000544	Si
3: Ojo Izquierdo Conjuntiva Nasal	3,715	0,0002031	Si
3: Ojo Izquierdo Conjuntiva Temporal	2,748	0,0454240	Si
4: Hombre - Mujer	0,542	0,0985211	No

Tabla 6: Análisis estadístico Comparación entre persona sanas y con SOS

Fuente: Elaboración Propia

6 Conclusiones

Se diseñó e implementó el protocolo experimental que permite realizar una caracterización termográfica de la superficie ocular sana a partir la técnica de la termografía infrarroja utilizando la cámara termográfica Fluke Ti32. Los resultados obtenidos en la adquisición de medidas demostraron que el protocolo formulado es efectivo para la comparación térmica de la función lagrimal humana entre personas sanas y con síndrome de ojo seco, el cual puede llegar a resultar de gran utilidad para posteriores estudios como punto de referencia para el diagnóstico de patologías y detección temprana de problemas oculares.

Se establecieron diferencias térmicas entre las tres zonas principales de la superficie ocular por medio de las cuales se verificó que la diferencia de temperatura entre la zona de la córnea y la zona nasal conjuntiva para toda la muestra, supera en promedio 1 °C y en el centro de la córnea y las conjuntivas nasal y temporal se observó una diferencia promedio de 0,4 °C, concluyendo con estos resultados, que la zona corneal de la superficie ocular siempre presenta menores temperaturas las cuales son debidas a que en esta región no hay irrigación sanguínea.

Al analizar la muestra total se encuentra que de manera general existe una disminución de temperatura de la superficie ocular (córnea) de los sujetos de sexo masculino y femenino en la posición de fijación con parpadeo, pero no hay diferencias significativas en la disminución de temperatura referente al género.

Se verificó experimentalmente mediante el protocolo diseñado que la variación de la temperatura de la zona corneal de la superficie ocular en la posición de fijación con parpadeo presenta una tasa de disminución respecto al tiempo para personas sanas, pero para personas con síndrome de ojo seco presenta una estabilidad térmica, lo anterior permite comparar las pendientes de la caracterización térmica para un diagnóstico cuantitativo.

Realizando un análisis estadístico a las pendientes generadas por la caracterización de la temperatura en el instante en que las personas sanas y enfermas tienen una posición fija con parpadeo se estableció mediante una prueba no paramétrica (U de Mann-Whitney) debido a la no normalidad de los datos que la comparación de la función lagrimal entre el grupo de personas control y enfermas es estadísticamente significativa y en las tres zonas estudiadas: Córnea, conjuntiva nasal y temporal lo que favorece en el cumplimiento del objetivo de un diagnóstico cuantitativo para la enfermedad.

En los casos donde se encontró una diferencia estadísticamente significativa entre el grupo de personas sanas y enfermas (SOS) para la comparación térmica de la superficie ocular fue para el promedio de ambos ojos, ojo derecho, ojo izquierdo incluyendo el total de personas sanas y con síndrome de ojo seco para las tres áreas estudiadas: Cornea, conjuntiva nasal y temporal. En el caso donde se hizo el análisis estadístico referenciando el género de la persona se encontró que la diferencia estadísticamente no es significativa por lo cual este parámetro no influye en la comparación térmica.

7 Bibliografía

- [1] A. Szentkuti, H. S. (385–392,). Infrared thermography and image analysis for biomedical use. Periodicum Biologorum, págs. 385–392.
- [2] Acharya, J. H. (2009). "Infrared Thermography on ocular surface temperature: a review. Elsevier, Infrared Physics & Technology, , 97-108.
- [3] Aguilar, A. J. (s.f.). Sociedad Argentina de Oftalmología. Obtenido de <http://www.sao.org.ar>
- [4] Ashok, G. (s.f.). Fisiopatología de la película lagrimal de Ojo seco y otros trastornos de la superficie ocular, Capítulo 1. Editorial Medica Panamericana.
- [5] C. Bucella, V. S. (2007). Prediction of temperature increase in human eye due to RF sources. IEEE Transactions on electromagnetic compatibility, 825-833.
- [6] Diakides, H. Q. (2001). Infrared imaging in medicine. Tennessee: Electrical and Computer Engineering, Department University of Tennessee.
- [7] EC,IFCC,ISO,IUPAC,IUPAP,OMIL BIPM. (1995). Guide to expression of Uncertainty in Measurement.
- [8] F. Conti. (s.f.). Fisiología de la visión. Fisiología Medica, Capítulo 18, 79-402.
- Fluke. (Febrero de 2015). Obtenido de Fluke Corporation:
<http://www.fluke.com/fluke/uses/Termograf%C3%ADa/Fluke-Ti32.htm?PID=56184>

- [9] Instituto Químico Biológico. (Agosto de 2014). Anatomía del aparato lagrimal y producción de lágrimas. Obtenido de :
http://www.iqb.es/ofthalmologia/aparato_lagrimal/anatomia01.htm.
- [10] Oftalmología Especializada Integral Care of the Eye (Febrero 2015), “Anatomía del ojo humano,” <http://www.ofthalmologiamex.org>.
- [11] J.H. Tan, E. N. (2010). Automated study of ocular thermal images: Comprehensive analysis of corneal health with different age group subjects and validation. *Digital Signal Processing*, 1579-1591.
- [12] Jones, B. (1998). A reappraisal of the use of infrared image analysis in medicine. *IEEE, Transactions on medical imaging*, 1019-1027.
- [13] Kawali, A. A. (2013). Thermography In Ocular Inflammation. *Indian Journal of Radiology & Imaging*, 281-283.
- [14] L. E. Llamosa, J. d. (2009). Metodología para la estimación de la incertidumbre en mediciones directas. *Scientia et Technica*, 384- 389.
- [15] L. E. Llamosa, J. H. (2011). Utilización del Teorema del límite central en el cálculo de la incertidumbre de medición. *Revista Colombiana de Física*, 690-695.
- [16] L. Tan, Z. Q. (2009). Accuracy and sensitivity of the dynamic ocular thermography and inter-subjects ocular surface temperature (OST) in Chinese young adults. *Contact Lens & Anterior Eye*, 78-83.
- [17] M, G. (2008). Alteración de la superficie ocular tras la exposición a un ambiente adverso creado en una cámara de ambiente controlado (CAC) . Trabajo de grado doctoral en Ciencias de la Visión. Valladolid: Universidad de Valladolid.
- [18] Mapstone, R. (1968). Determinants of corneal temperature. *British. Journal Ophthalmology*, 729-741.
- [19] Mapstone, R. (1970). Ocular thermography,. *British Journal of Ophthalmology*, 751-754.
- [20] Mohammad, A. S. (2014). Thermal fluctuation based study of aqueous deficient dry eyes by non-invasive thermal imaging. *Experimental Eye Research*, 5.
- [21] Morgan PB1, T. A. (1995). Infrared thermography of the tear film in dry eye. Department of Optometry and Vision Sciences, University of Manchester Institute of Science and Technology, UK.
- [22] Natalia Sanchez Aldana, J. V. (s.f.). Imágenes Por Radiación Infrarroja Y Termografía. Medellín: Escuela de ingeniería de antioquia e Instituto de ciencias de la salud.
- [23] Nave, M. O. (Abril de 2010). HyperPhysics. Obtenido de <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/hph.html>.
- [24] P. B. Morgan, M. P. (1999). Corneal surface temperature decreases with age. *Contact Lens & Anterior Eye*, 11-13.
- [25] P. Morgan, A. B. (1995). Infrared thermography of the tear film in dry eye . *Eye*, 615-618.
- [26] P. Morgan, M. S. (1993). Potential Applications of Ocular Thermography. *Optometry and Vision Science*, 568-576.
- [27] PhD, M. B. (1996). Ocular Surface Cooling In Dry Eye – A Pilot Study. *Journal of The British Contact Lens Association*, 7-10.
- [28] Portelo, M. M. (Febrero de 2015). sld. Obtenido de <http://www.sld.cu>

- [29] R. Shiloh, S. P. (2003). Increased corneal temperature in drug-free male schizophrenia patients. *European Neuropsychopharmacology*, 49-52.
- [30] Testo. (Septiembre de 2008). Termografía, guía de bolsillo. Obtenido de Teoría, Aplicación Práctica, Consejos y Trucos: http://www.ait-orsonor.com/testo_guia.pdf
- [31] TOMOYUKI KAMAO, M. Y. (2011). Screening for Dry Eye With Newly Developed Ocular Surface Thermographer. *Am J Ophthalmol*, 11.
- [32] Yee, R. A. (2009). Analysis of normal human eye with different age groups using Infrared Images. *J Med Syst*, 207-213.
- [33] “Nivela,” (2008). <http://www.nivelatermografia.net/termografia>.
- [34] S. B. T. J. J. P. B.B. Lahiri (2012), “Medical applications of infrared thermography: A review,” *Infrared Physics & Technology*, Vol. 55, pp. 221-235,.
- [35] M González, “Alteración de la superficie ocular tras la exposición a un ambiente adverso creado en una cámara de ambiente controlado (CAC),” Trabajo de grado doctoral en Ciencias de la Visión, Valladolid, Universidad de Valladolid, Instituto Universitario de Oftalmobiología Aplicada (IOBA), 2008.